

1. Carta fotogrammetrica disegnata e fotocarta

Come detto al par. 3, cap. 1, parte I, mentre la cartografia di base costruita col metodo topografico è sempre una carta disegnata, manualmente o con plotter, quella realizzata con metodi fotogrammetrici può essere una carta disegnata o una fotocarta. Si chiamerà:

1. *carta fotogrammetrica* la prima, all'aspetto del tutto simile a quella ottenuta col metodo topografico;
2. *fotocarta* la seconda, che si presenta come un prodotto fotografico, poiché in effetti riproduce l'immagine dei fotogrammi, opportunamente deformata.

Le tecniche impiegabili per realizzare fotocarte sono:

- a. l'*ortofoto*, una tecnologia molto raffinata che impiega strumenti costosi e procedure rigorose ed è in grado di fornire una rappresentazione metrica di qualsiasi tipo di terreno. Le carte così realizzate sono dette *ortofotocarte*;
- b. la tecnica del *fotopiano*, anche detta *mosaico controllato*, e quella del *mosaico semplice*, detta anche del *mosaico non controllato*, applicabili però solo in terreni pianeggianti e che forniscono un elaborato che non sempre ha caratteristiche metriche sufficienti.

Nel seguito di questo capitolo prenderemo principalmente in considerazione le carte fotogrammetriche e le ortofocarte.

Lo schema della fig. 1 chiarisce la terminologia introdotta e anticipa sinteticamente i vari passi della costruzione della carta fotogrammetrica, della ortofotocarta e della fotocarta che verranno descritti nel seguito.

2. Fotogrammetria aerea e fotogrammetria terrestre

La fotogrammetria si potrebbe definire una tecnica che permette di rappresentare, in una scala voluta, la forma di un oggetto di cui

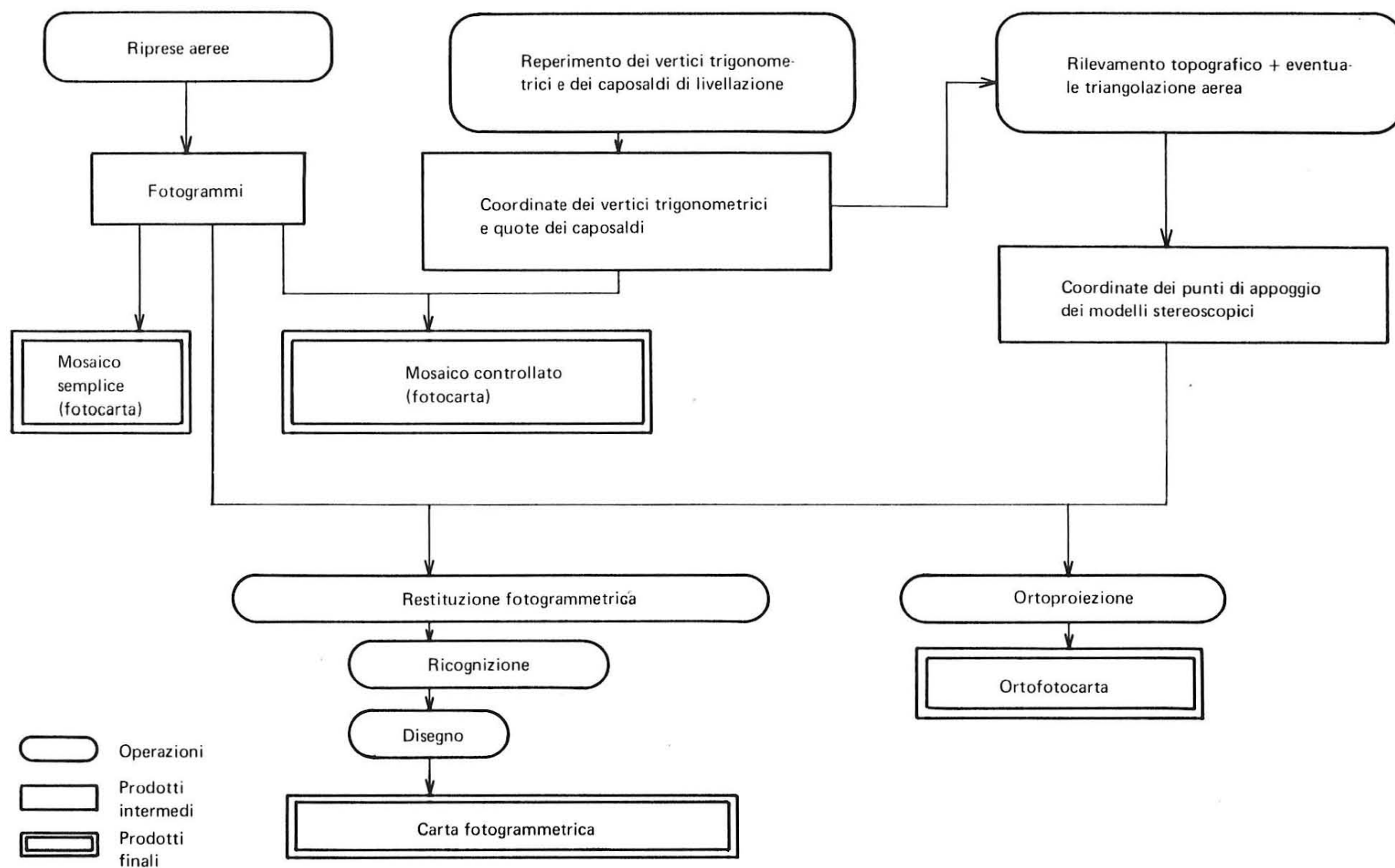


Fig. 1 - Procedimento di costruzione dei diversi supporti cartografici.

si abbiano due fotografie, prese da punti diversi ma di posizione nota rispetto ad esso mediante una camera fotogrammetrica, cioè una macchina fotografica avente particolari caratteristiche metriche. Si è impiegato il termine generico *oggetto* perché la fotografia consente di rappresentare qualsiasi cosa; tuttavia, poiché ciò che qui maggiormente interessa è la rappresentazione cartografica del terreno, ad esso ci si riferirà in prosieguo.

La fotogrammetria si divide in due rami, che si differenziano in modo sostanziale:

1. la fotogrammetria *terrestre*: nella quale i fotogrammi sono ottenuti mediante un *fototeodolite*; strumento formato dall'unione di un teodolite e di una camera fotogrammetrica, oppure mediante una camera fotogrammetrica a se stante; le riprese sono effettuate da un operatore che si muove sul terreno;
2. la fotogrammetria *aerea*: nella quale i fotogrammi sono ottenuti da una camera fotogrammetrica sistemata in maniera opportuna su un aeroplano.

La fotogrammetria terrestre viene impiegata solo per scopi particolari e in generale non cartografici; l'aerea è usata in proporzione, senza confronto, maggiore: pertanto, in conformità con le premesse fatte, si prenderà in considerazione solo quest'ultima.

3. Il principio della costruzione di cartografia mediante la fotogrammetria aerea

Si supponga di volere rappresentare sulla carta la porzione di terreno indicata in fig. 2 ipotizzando — cosa molto importante — che la zona da rilevare sia di dimensioni tali per cui una sua rappresentazione in scala reale (1 : 1) sarebbe data dalla sua proiezione ortogonale su un piano orizzontale. Si sorvola quindi il terreno con un aereo fotogrammetrico munito di camera da presa, ad un'altezza che dipenderà dalla scala alla quale si vuole rappresentare il terreno sulla carta. Si scatta una prima fotografia nella posizione 1; quindi si lascia trascorrere un po' di tempo durante il quale al fotogramma scattato nella posizione 1 viene sostituito automaticamente nella camera da presa un nuovo fotogramma; quando l'aereo è nella posizione 2 si scatta una seconda fotografia. Il segmento B, che va dal punto O_1 (in cui si trova il centro dell'obiettivo al momento del primo scatto) a quello O_2 (in cui questo si trova al secondo scatto) si chiama base di presa, o semplicemente base; i punti O_1 e O_2 sono detti *punti di presa*.

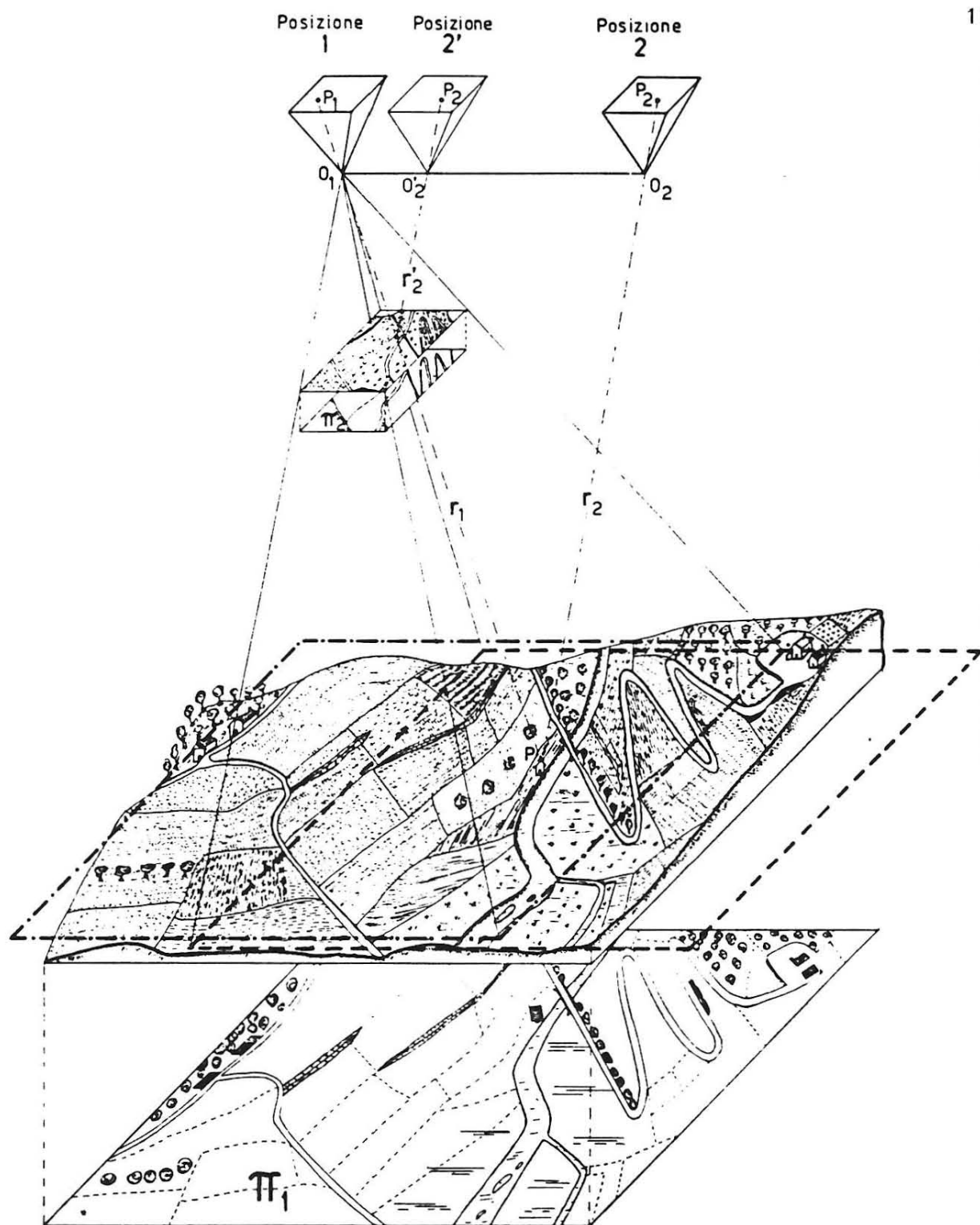


Fig. 2 - Schema della fotogrammetria aerea

Si immagini ora che, anziché avere una sola camera che ha assunto successivamente le posizioni 1 e 2, se ne abbiano due, ferme nello spazio, in quelle posizioni; al momento in cui gli otturatori si sono aperti, ogni punto P del terreno ha originato su ciascuna delle due lastre una sua immagine: P_1 sulla lastra nella posizione 1 e P_2 su quella nella posizione 2. P_1 e P_2 si dicono *punti omologhi*, poiché sono le immagini di uno stesso punto e le rette r_1 e r_2 che congiungono il punto reale P e le sue immagini P_1 e P_2 , si chiamano *raggi omologhi*. Lo stesso avviene per qualsiasi altro punto del terreno nella zona ripresa dalle due diverse posizioni; tale zona si chiama *zona di sovrapposizione o di ricoprimento*. Si constata allora che la superficie del terreno è il luogo dei punti da cui nascono i raggi omologhi che danno origine sui due fotogrammi alle immagini dei punti; e viceversa, se si immagina che, ferme restando nello spazio le due lastre impressionate, il terreno scompaia, si potrà ricostruire la superficie come intersezione dei raggi omologhi ottenuti tracciando delle semirette che partono da punti omologhi e passano per il centro dell'obiettivo.

Si faccia ora un ulteriore passo avanti e, per comprendere meglio, ci si aiuti con la fantasia. Si supponga che le due camere siano ferme nello spazio nelle due posizioni 1 e 2 e che dai punti di presa escano, materializzati come raggi luminosi, un certo numero di raggi omologhi (in fig. 2 ne è stata disegnata solo una coppia, quella relativa al punto P , per non rendere troppo complesso il disegno). Si osservi il triangolo $O_1 O_2 P$ e si immagini di fare scorrere la camera da presa di destra, cioè quella che si trova nella posizione 2, lungo la base di presa, verso la camera nella posizione 1. La retta r_2 traslerà parallelamente a se stessa e il triangolo $O_1 O_2 P$ si ridurrà di dimensione mantenendosi uguale nella forma. Lo stesso avviene per tutti i triangoli che si possono considerare, cioè quelli formati da tutte le possibili coppie di raggi omologhi. Ne consegue che per effetto dello scorrimento della camera di sinistra lungo la base di presa si verifica che:

- i raggi omologhi continuano ad avere un punto comune d'intersezione;
- i punti d'intersezione dei raggi omologhi non ricostruiscono più la superficie del terreno nella sua dimensione originaria, ma in una scala che dipende in maniera lineare dalla traslazione che la camera di destra ha subito lungo la base di presa;
- la posizione angolare dei due fotogrammi rispetto al piano orizzontale non cambia; questo significa che proiettando ortogonalmente su un piano orizzontale π_2 parallelo a π_1 , i punti d'intersezione dei raggi omologhi (dopo che abbiamo portato la camera 2

nella posizione 2') si ottiene una figura del tutto simile a quella che si avrebbe proiettando la superficie del terreno sul piano π_1 ; le due figure stanno però fra loro in un rapporto di scala che è dato direttamente dal numero di volte che è stata ridotta la base per portare la camera 2 dalla posizione 2 alla posizione 2'.

Volendo pertanto rappresentare su una carta in una determinata scala la parte di terreno relativa ai due fotogrammi, si può pensare di procedere nel seguente modo:

- a. costruire due camere fotografiche che abbiano le stesse caratteristiche metriche di quella con cui è stata fatta la presa, dette *camere di restituzione*;
- b. metterle su un apposito telaio, vincolandole ad esso in modo che ciascuna possa subire delle piccole traslazioni e delle rotazioni; l'insieme di questo telaio e delle due camere di restituzione forma la parte fondamentale di quello che sarà l'apparecchio restitutore;
- c. inserire i due fotogrammi relativi a una stessa zona di terreno nelle due camere di restituzione;
- d. utilizzare un dispositivo (figg. 7a, 7b) che permetta d'individuare il punto d'intersezione dei raggi omologhi e di proiettarli su un piano orizzontale, materializzato da un tavolo facente parte del restitutore, sul quale verrà steso il foglio su cui tracciare la carta;
- e. fare assumere alle due camere, mediante un'opportuna serie di movimenti, la stessa posizione rispetto al piano orizzontale su cui viene tracciata la carta che esse avevano rispetto al piano orizzontale al momento della presa e far sì che la distanza tra i punti di presa delle due camere di restituzione sia ridotta, rispetto alla base di presa, allo stesso rapporto della scala della carta. Quest'ultima condizione deve essere verificata solo se il modello stereoscopico viene formato alla stessa scala della carta da costruire; si vedrà in seguito perché questa condizione potrà anche non essere verificata;
- f. eseguire la restituzione fotogrammetrica, cioè individuare l'intersezione dei raggi omologhi dei punti che devono essere cartografati e riportare ortogonalmente il punto d'intersezione dei raggi sul foglio da disegno.

Realizzando una carta fotogrammetrica, occorrerà un dispositivo per il disegno che, posto di volta in volta in corrispondenza del punto d'intersezione dei raggi omologhi, consenta di riportare tale punto sul piano del disegno (fig. 5). Nel caso dell'ortofotocarta, il

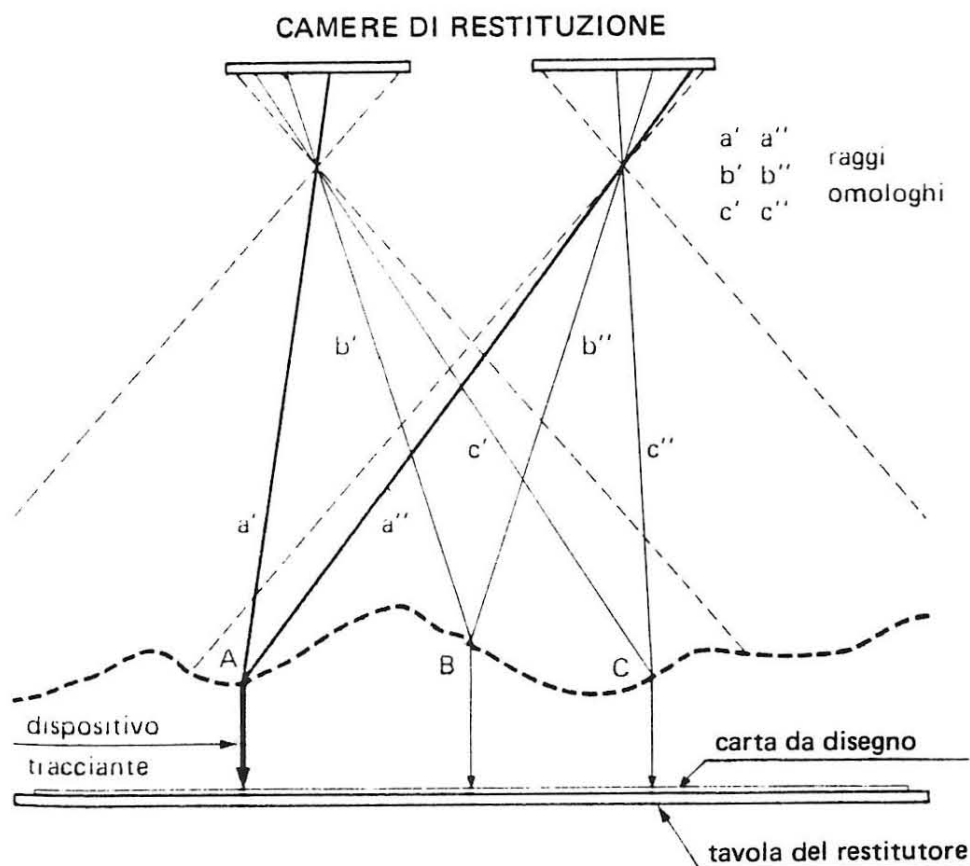


Fig. 3 - Principio della restituzione fotogrammetrica

foglio di disegno sarà sostituito da un foglio di carta fotografica, sul quale verrà proiettata ortogonalmente di volta in volta una piccola zona di fotogramma; nella fig. 4 è schematicamente indicato il principio dell'ortofotorestituzione.

Come si vedrà in seguito, in realtà lo strumento per costruire l'ortofotocarta è basato su principi tecnici differenti; ciò che intende indicare la fig. 4 è che la tecnica dell'ortofoto non è basata su una proiezione fotografica centrale (ved. fig. 5, cap. 2, parte I) ma su una riproiezione fotografica ortogonale del fotogramma: infatti nella fig. 4 il fascio di raggi ottici prelevato da uno dei due fotogrammi non va a proiettarsi, come avverrebbe con un semplice ingranditore fotografico, nella posizione A'', ma viene proiettato ortogonalmente nella posizione A'; ciò assicura all'ortofoto, contrariamente a una semplice fotografia, proprietà metriche che la rendono idonea a essere utilizzata come cartografia di base.

Si ripete che in realtà gli ortofotoproiettori, cioè gli strumenti con i quali viene realizzata l'ortofoto, sono costruiti con principi diversi da quello rappresentato nella fig. 4; lo schema però è utile perché fa comprendere che carta fotogrammetrica e ortofotocarta na-

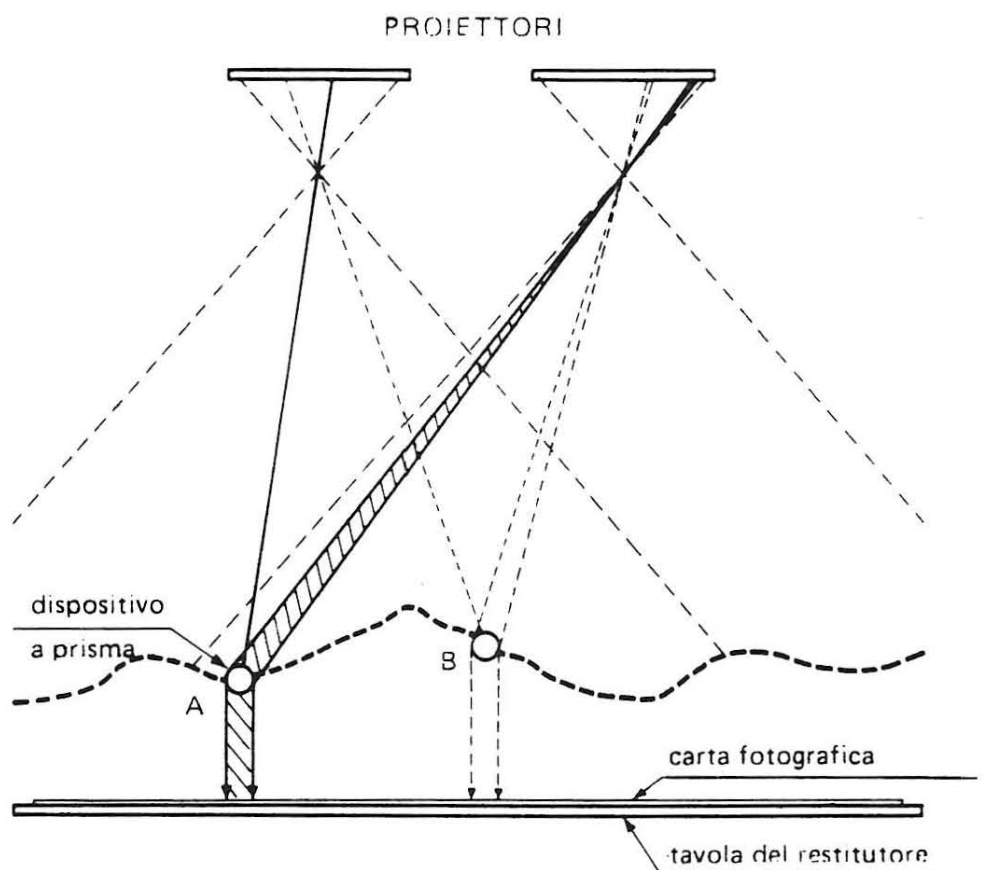


Fig. 4 - Principio dell'ortofoto

I principi di funzionamento degli strumenti mediante i quali si realizza un'ortocarta sono numerosi. Tuttavia si può dire che il risultato che con essi si ottiene, equivale a quello che si otterrebbe se nel restitutore ci fosse un dispositivo ottico (prisma) che, portato in corrispondenza dell'intersezione dei raggi omologhi, proiettasse ortogonalmente l'immagine proveniente da una lastra su una carta fotografica posta sul piano di restituzione (tavolo del restitutore). In tal modo si ottiene direttamente dalla fotografia una rappresentazione centrale (figg. 4 e 5, cap. 2, parte I) che equivale a una sua proiezione ortogonale, e che quindi dal punto di vista metrico equivale a una carta topografica.

scono dall'applicazione dello stesso principio, sono cioè tecniche rigorose di costruzione cartografica che richiedono la ricostruzione, attraverso due fotogrammi, del modello della superficie del terreno; tale modello non viene ricostruito con una sua materializzazione concreta ma esisterà idealmente negli strumenti come intersezione teorica dei raggi omologhi.

4. La costruzione di una carta fotogrammetrica

4.1. La ripresa aerea dei fotogrammi

L'esperienza, e varie considerazioni di carattere teorico e pratico, hanno permesso di stabilire come fra la scala media dei fotogrammi

e quella della carta che da essi può essere ottenuta debba esistere un determinato rapporto, il cui valore varia da 4 a 5 per le grandi scale ($1 : 1.000 \div 1 : 2.000$), da 2 a 3 per le scale medie ($1 : 5.000$ e $1 : 10.000$) e da 1 a 2, fino a valori inferiori ad 1, per le piccole scale. Dai valori di questo rapporto, e tenuto conto che la focale delle camere da presa è di circa 150 mm, si ricava la quota dalla quale deve essere effettuata la ripresa dei fotogrammi. Se ad es. si deve costruire una carta alla scala $1 : 10.000$, la scala dei fotogrammi dovrà essere di $1 : 25.000$ circa; quindi impostando la proporzione tra la distanza focale $f = 150$ mm e la quota di volo non nota H (fig. 5), si ricava:

$$f/H = 1/25.000$$

e quindi

$$H = 25.000 \times f = 25.000 \times 0,15 \text{ m} = 3.750 \text{ m}$$

Per una carta alla scala $1 : 2.000$ si dovrà invece avere una scala dei fotogrammi di $1 : 8.000$ e quindi si avrà:

$$H = 8.000 \times 0,15 \text{ m} = 1.200 \text{ m}$$

Per ottenere la quota assoluta di volo H^* si dovrà sommare alla quota così ottenuta la quota media del terreno ripreso:

$$H^* = H + Q_m \text{ (fig. 5).}$$

La quota di volo così calcolata è quella che consente di vedere e riprodurre correttamente i particolari del terreno, relativamente alla scala della carta che si vuole ottenere, con la precisione planimetrica e altimetrica usualmente richiesta per le diverse scale.

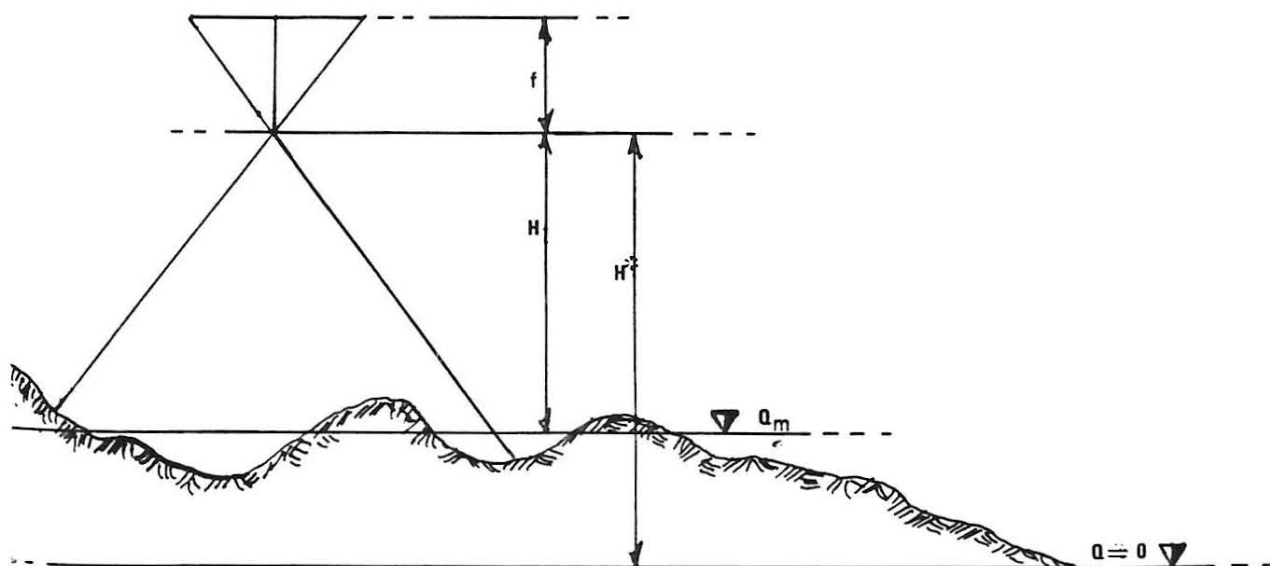


Fig. 5 - Determinazione della quota di volo

Problema del tempo di presa

Al fine di impressionare la pellicola fotografica occorre un certo tempo, funzione, oltre che della luminosità, anche del diametro del circolo di confusione, ossia dell'unità minima del materiale sensibile di cui la pellicola è composta.

121

Poichè la fotografia aerea viene ovviamente scattata in movimento, occorre che il tempo di apertura dell'otturatore sia tale da far sì che il tratto descritto da ogni punto osservato del terreno sia contenuto all'interno del circolo di confusione, evitando così che la fotografia appaia "mossa".

Per determinare il tempo t di apertura dell'otturatore (o tempo di presa) che soddisfa tale condizione, immaginiamo che, invece di essere l'aereo a volare nella direzione x con velocità v (vedi fig. I), esso sia fermo ed il terreno sottostante si muova, della stessa velocità, nella direzione opposta.

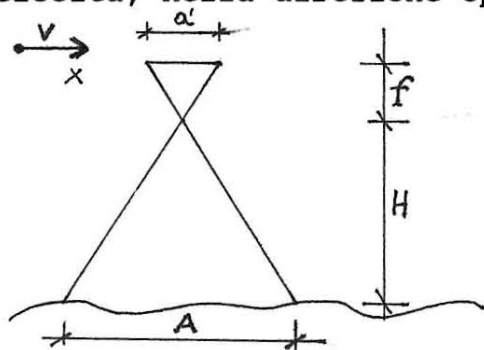


Figura I

Osservando i due triangoli potremo scrivere :

$$\frac{a'}{A} = \frac{f}{H} \quad \text{--->} \quad a' = \frac{f \cdot A}{H}$$

Ma $A = v \cdot t$ visto che abbiamo immaginato il terreno muoversi, rispetto all'aereo fermo, con velocità v , per cui si ha:

$$a' = \frac{f \cdot v \cdot t}{H}$$

ove t è appunto il tempo di presa.

Per quanto detto in precedenza deve essere $a' \leq a$, ove a è il diametro del circolo di confusione, solitamente pari a 20μ per le normali pellicole fotografiche utilizzate in aerofotogrammetria. Si ha perciò:

$$a' = \frac{f \cdot v \cdot t}{H} \leq a = 20\mu \quad \text{--->} \quad \frac{f \cdot v \cdot t}{H} \leq 20\mu \quad \text{--->} \quad t \leq 20\mu \cdot \frac{H}{f \cdot v}$$

Esempio. Se si pone $H=1000$ m, $f=0,20$ m, $v=180$ Km/h $=50$ m/s, si ha $t = 1/500$ s ossia le lamelle dell'otturatore devono, a quelle condizioni di quota e velocità di volo, aprirsi e richiudersi in $1/500$ di secondo per evitare che la foto riesca "mossa".

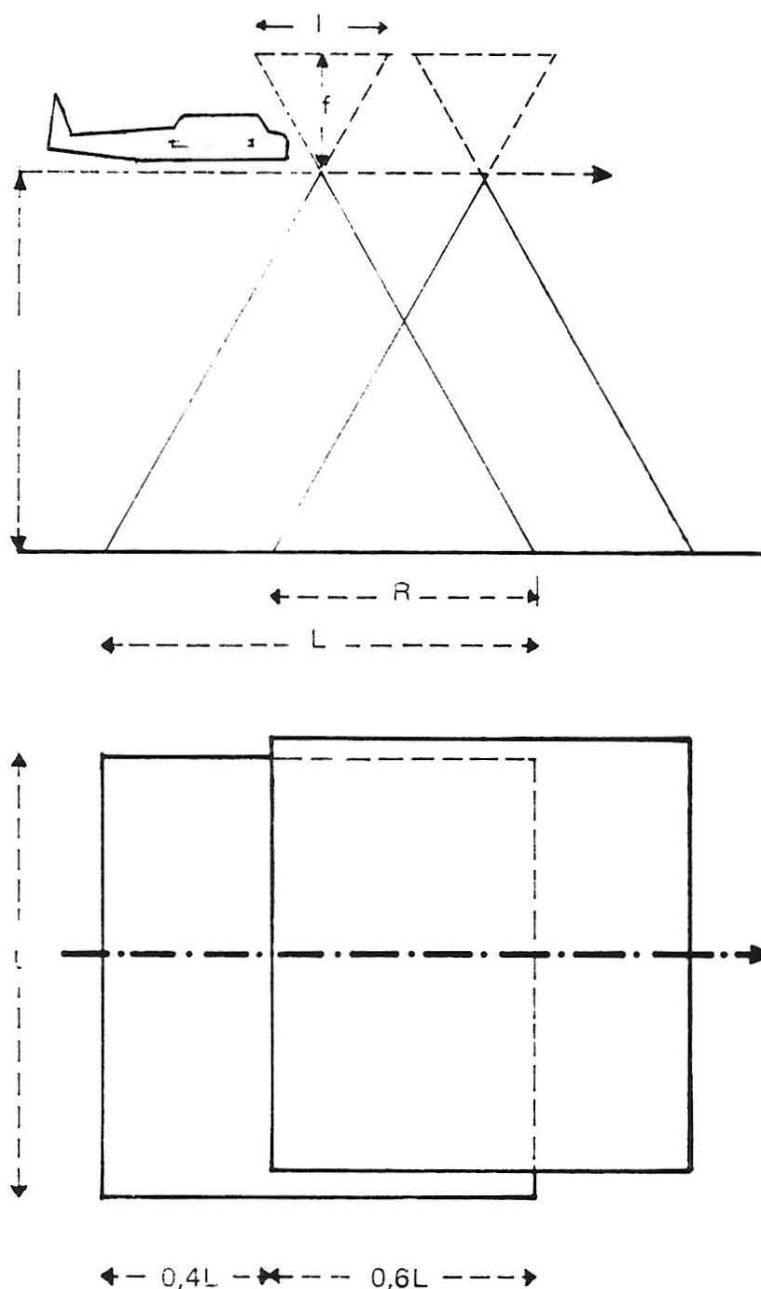


Fig. 6a - Schema di ripresa per fotogrammetria aerea. L'aereo sorvola il terreno alla quota di volo H ; vengono riprese delle fotografie del terreno in modo che ogni punto del terreno compaia su due fotografie; ciò si ottiene facendo sì che ogni fotografia ricopra al 60% la parte di terreno che compare sulla precedente. Nelle figure L è il lato della zona di terreno (all'incirca quadrata) ripresa sul fotogramma; R è il ricoprimento longitudinale che è uguale al 60% di L ; « l » è il lato del fotogramma (230 mm); « f » è la focale della camera da ripresa (in genere 150 mm).

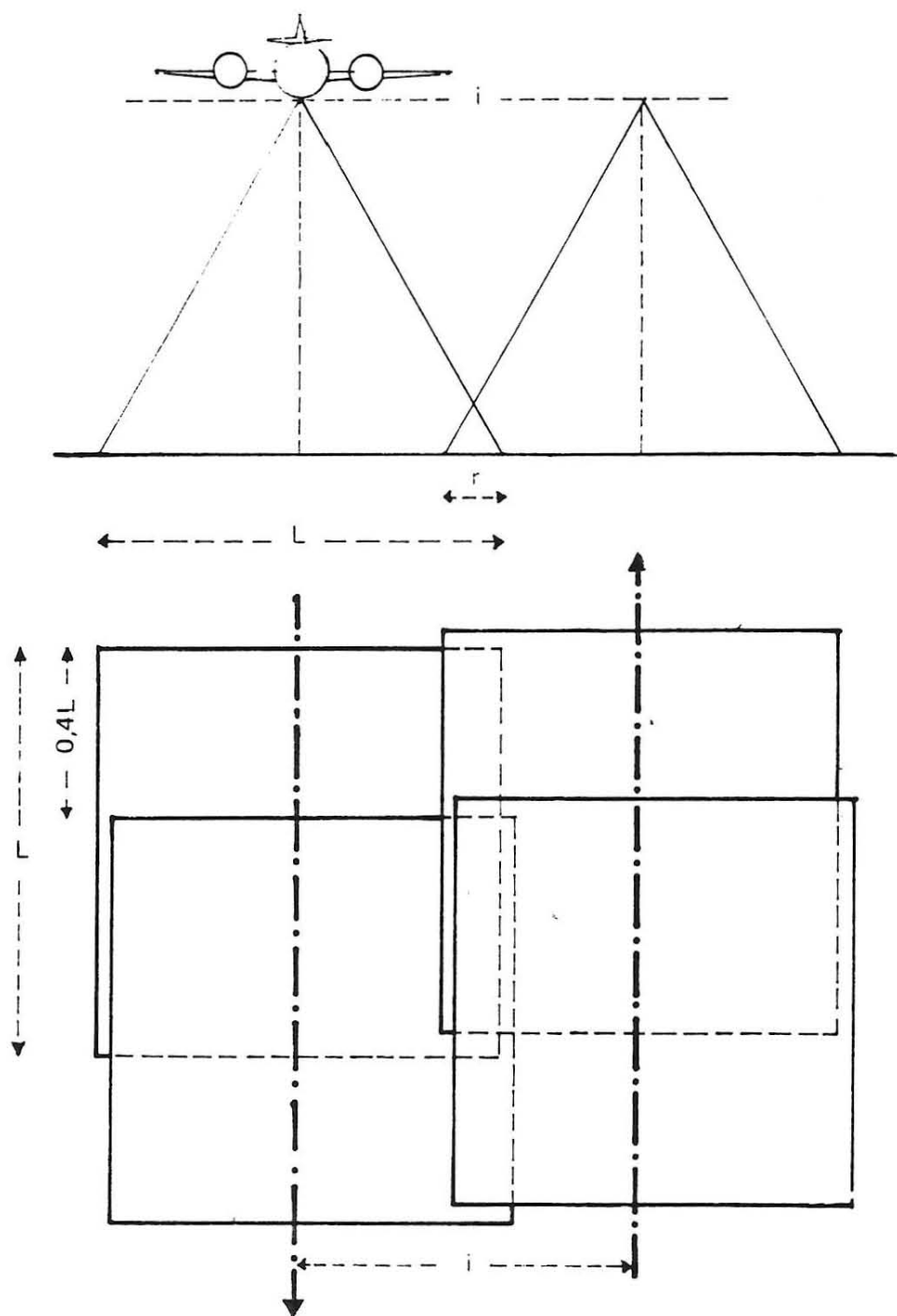


Fig. 6b - Schema di ripresa per fotogrammetria aerea. L'aereo sorvola il terreno eseguendo delle «strisciate» di fotogrammi contigue; l'interasse «i» tra due strisciate viene scelto in modo che le strisciate si ricoprano per il 20% («r» = ricoprimento trasversale) sempre per garantire la totale copertura fotografica del terreno da cartografare.

Il numero dei fotogrammi necessari a ricoprire una determinata superficie è legato alla quota di volo e al ricoprimento fra i fotogrammi.

La restituzione fotogrammetrica di una determinata porzione di territorio è possibile solo se essa viene ripresa su due fotogrammi. Ciò significa che ogni zona da cartografare deve comparire su due fotogrammi successivi, cosa che si ottiene effettuando la ripresa in modo che due fotogrammi contigui riprendano per il 60% del formato la stessa porzione di terreno (figg. 6a, 6b). La ripresa fotografica avviene per strisciate di fotogrammi secondo un asse longitudinale; poiché il ricoprimento è di solito del 60% longitudinalmente (cioè tra un fotogramma e il successivo) e del 20% lateralmente (cioè fra strisciate contigue), i fotogrammi necessari per la costruzione di una carta sono molto più numerosi di quelli che forniscono la sola copertura fotografica del terreno. Ad es., per costruire una carta alla scala 1 : 5.000 si devono utilizzare fotogrammi aventi una scala media di 1 : 15.000; a tale scala il fotogramma del formato 230 x 230 mm ricopre una superficie di terreno di circa 12 kmq ma tenuto conto del ricoprimento longitudinale e laterale la superficie che viene sfruttata ai fini della costruzione della carta è di soli 3,8 kmq.

Se consideriamo la Puglia, la cui superficie è di 19.350 kmq, si vede che, per costruirne la carta alla scala 1 : 5.000, occorrerebbero circa 5.000 fotogrammi.

Questo numero, che è il risultato di un calcolo teorico, va aumentato di almeno un 20% poiché le strisciate hanno lunghezza maggiore di quella strettamente necessaria e perché nelle zone non pianeggianti occorre aumentare i valori di sovrapposizione sia longitudinale sia trasversale per evitare inconvenienti.

Per quanto riguarda i vincoli imposti dalle condizioni meteorologiche e dalla burocrazia si rimanda ai par. 3.5 e 3.6, cap. 2, parte I.

Il progetto della ripresa aerea si concretizza nella stesura del *piano di volo*, allestito riportando sull'esistente cartografia Igm, alla scala 1 : 25.000 o 1 : 100.000, a seconda della dimensione del territorio da rilevare e della scala della carta da costruire, gli assi delle strisciate, e la quota assoluta alla quale devono essere volate. Il piano di volo serve a controllare che la quota di volo fissata per ogni strisciata garantisca il ricoprimento tra strisciate contigue e che la scala media dei fotogrammi che si otterranno sia quella richiesta per la costruzione della carta. In fase operativa poi, il piano di volo è il documento in base al quale il navigatore guida il pilota in modo che le strisciate vengano effettuate così come sono state progettate.

Problema dell'intervallo di scatto

Per ottenere un ricoprimento del 60% dei fotogrammi, occorre che la stessa porzione di terreno venga ripresa dopo un certo intervallo di tempo nel quale l'aereo, che si muove a velocità v , passa dalla posizione Y a quella Z.

125

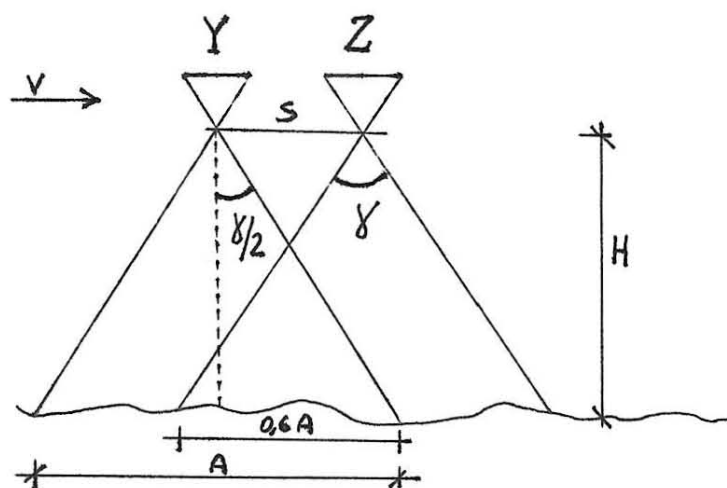


Figura II

Poichè dalla figura II si ha

$$S = A - 0,6 A = (1 - 0,6) * A = 0,4 * A$$

e lo spazio S percorso è legato alla velocità dell'aereo secondo la relazione

$$S = v * \Delta t$$

ove Δt è l'intervallo di tempo dopo il quale si ripete la ripresa fotografica, si ha, eguagliando i secondi membri, che:

$$v * \Delta t = 0,4 * A \quad \text{--->} \quad \Delta t = 0,4 * A/v$$

Avendo indicato con γ l'angolo di campo (ossia l'angolo formato dalle proiettrici passanti per gli estremi dell'obiettivo e per il centro di proiezione) si ha dalla figura II:

$$A = 2 * H * \operatorname{tg} \gamma/2 \quad \text{--->} \quad \Delta t = 0,4 * \frac{2 * H * \operatorname{tg} \gamma/2}{v}$$

Poichè per un obiettivo normale si ha $\operatorname{tg} \gamma/2 \cong 0,5$ la relazione diventa

$$\Delta t = 0,4 * \frac{H}{v}$$

Esempio. Se si pone $H=1000$ m, $v=180$ Km/h = 50 m/s, si ha $\Delta t = 8$ s, ossia l'intervallo di tempo tra due scatti successivi deve essere, a quelle condizioni di quota e velocità di volo, pari a 8 secondi per avere un ricoprimento del 60%.

La ripresa aerea, specialmente in terreni montagnosi, è la fase più delicata e di più difficile esecuzione di tutto il procedimento di costruzione della cartografia. Gli elaborati che normalmente documentano le fasi di ripresa sono, oltre al piano di volo:

- il quadro d'unione dei fotogrammi, allestito dopo la ripresa aerea e lo sviluppo delle pellicole riportando il contorno dei fotogrammi sulla stessa carta sulla quale sono stati tracciati gli assi delle strisciate. Permette di controllare che siano state rispettate le sovrapposizioni richieste fra fotogrammi e fra strisciate;
- due serie a stampa di tutti i fotogrammi nel formato originale (230 x 230 mm);
- una serie di diapositive di tutti i fotogrammi nel formato originale.

4.2. *La restituzione fotogrammetrica*

4.2.1. *Il principio tecnico della restituzione*

La restituzione fotogrammetrica è l'operazione con cui, utilizzando un apposito strumento detto *restitutore fotogrammetrico*, dalle fotografie aeree si ricava la carta fotogrammetrica.

Nel restitutore si inseriscono due fotografie aventi un ricoprimento del 60% e le si osserva con un dispositivo che consente la visione stereoscopica, cioè tridimensionale, della superficie di terreno ad esse comune. Seguendo una speciale procedura (descritta al par. 4.2.3 successivo) e sfruttando i dispositivi di cui lo strumento è dotato, si posizionano le due fotografie, muovendole l'una rispetto all'altra, in modo che assumano lo stesso orientamento che avevano all'atto della presa; con questa operazione si forma il cosiddetto *modello stereoscopico*, che è una entità non materializzata formata dal punto d'intersezione ideale dei raggi omologhi (1). Dopodiché, muovendo attraverso altri dispositivi le due fotografie nel loro insieme, si effettua il posizionamento del modello stereoscopico in modo che risulti in posizione corretta rispetto al sistema di riferimento dello strumento restitutore. Si procede quindi al tracciamento della carta osservando stereoscopicamente le fotografie e tracciando, mediante opportuni dispositivi, i particolari naturali e artificiali del terreno su un supporto steso su un tavolo da disegno collegato con dispositivi meccanici allo strumento restitutore. Questo supporto è detto *minuta di resti-*

1. Cioè dei raggi che proiettano ogni punto del terreno che compare su entrambe le fotografie.

tuzione e il *restitutista*, cioè l'operatore che lavora al restitutore, riporta su di esso, oltre alla planimetria, anche le quote di alcuni punti del terreno e le curve di livello.

4.2.2. Strumenti restitutori

I restitutori sono macchine molto complesse, che richiedono una costruzione ottica e meccanica di grande precisione. Si differenziano per le diverse tecniche impiegate per realizzare i dispositivi che consentono la formazione del modello stereoscopico e il tracciamento della carta, oltre che per grado di precisione (alcuni sono adatti per restituire carte a qualsiasi scala, mentre altri sono idonei alla costruzione di carte a scala media o piccola). Si dividono in due categorie:

- a. *analogici*: applicano un principio di funzionamento che simula il fenomeno della presa a cui quindi è analogo; l'analogia è di tipo meccanico e pertanto vengono detti restitutori analogici meccanici. Sono costituiti da una struttura che sostiene due supporti sui quali vengono messi i due fotogrammi da restituire; questi supporti sono i corrispondenti della camera da presa in due posizioni successive, cioè in corrispondenza di due punti di presa. I raggi omologhi sono materializzati da due bacchette metalliche, una per ciascun fotogramma; un'estremità delle bacchette si trova, rispetto ai fotogrammi, nella stessa posizione che occupava il centro dell'obiettivo nella camera da presa; le altre due estremità convergono in un punto che corrisponde al punto d'intersezione di una coppia di raggi omologhi; il corretto posizionamento delle bacchette, in modo che la loro intersezione rappresenti un punto del modello del terreno, viene effettuato dal restitutista mediante l'osservazione stereoscopica dei fotogrammi (figg. 7a, 7b).
Al restitutore è collegato un tavolo su cui viene tracciato il disegno della carta; l'organo tracciante del tavolo può essere dotato di opportuni automatismi, in modo da semplificare il lavoro di disegno; ad es. dopo aver restituito i quattro spigoli di una casa, il restitutista può impartire un comando affinché l'organo tracciante congiunga automaticamente con quattro segmenti i punti;
- b. *analitici*: sono basati sul concetto di determinare la diversa posizione che due punti omologhi hanno su due fotogrammi e calcolare la loro posizione sul terreno. Parte integrante di un restitutore analitico è quindi un calcolatore elettronico, che deve assistere continuamente le operazioni di restituzione.

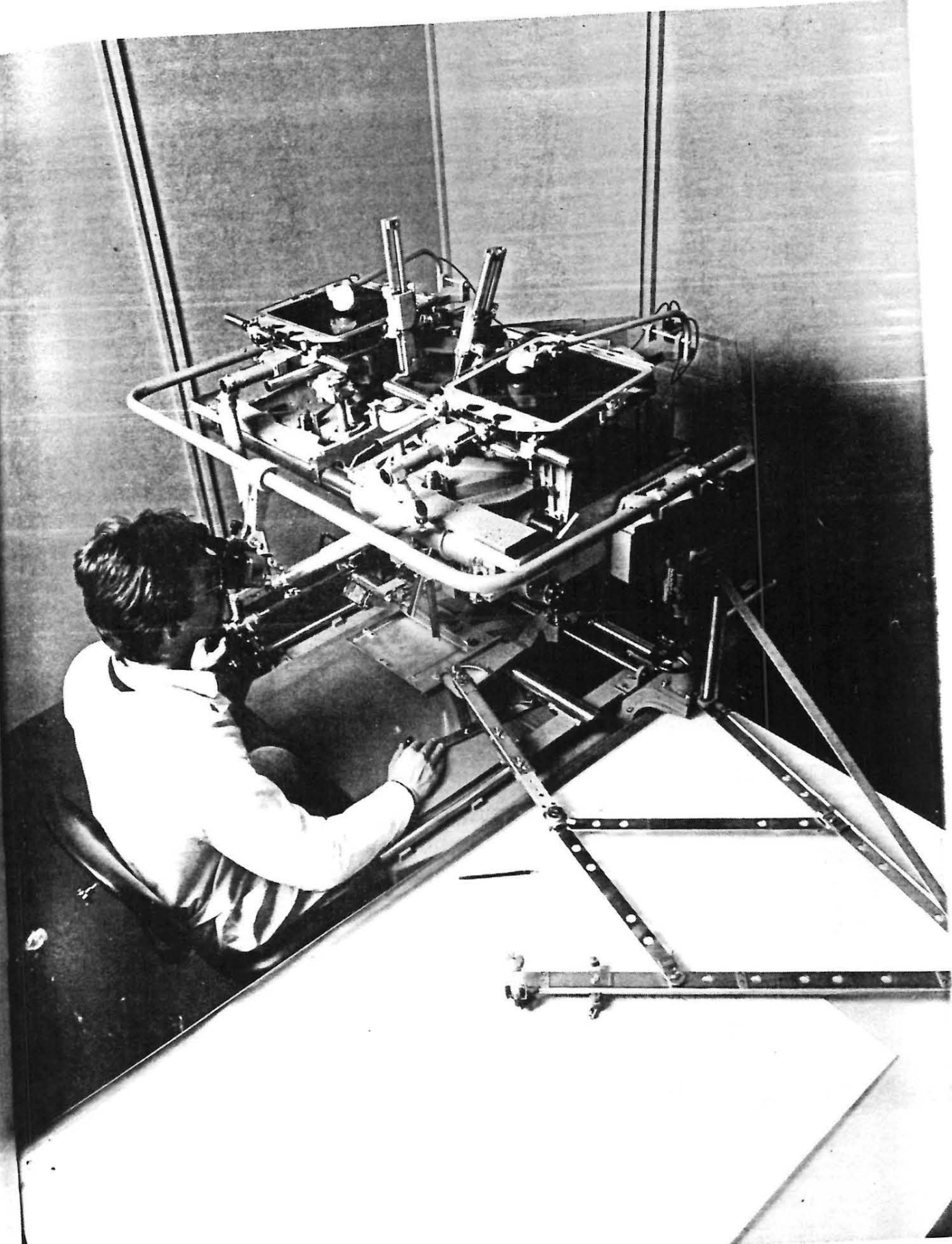


Fig. 7a - Uno strumento analogico: lo Stereosimplex IIc

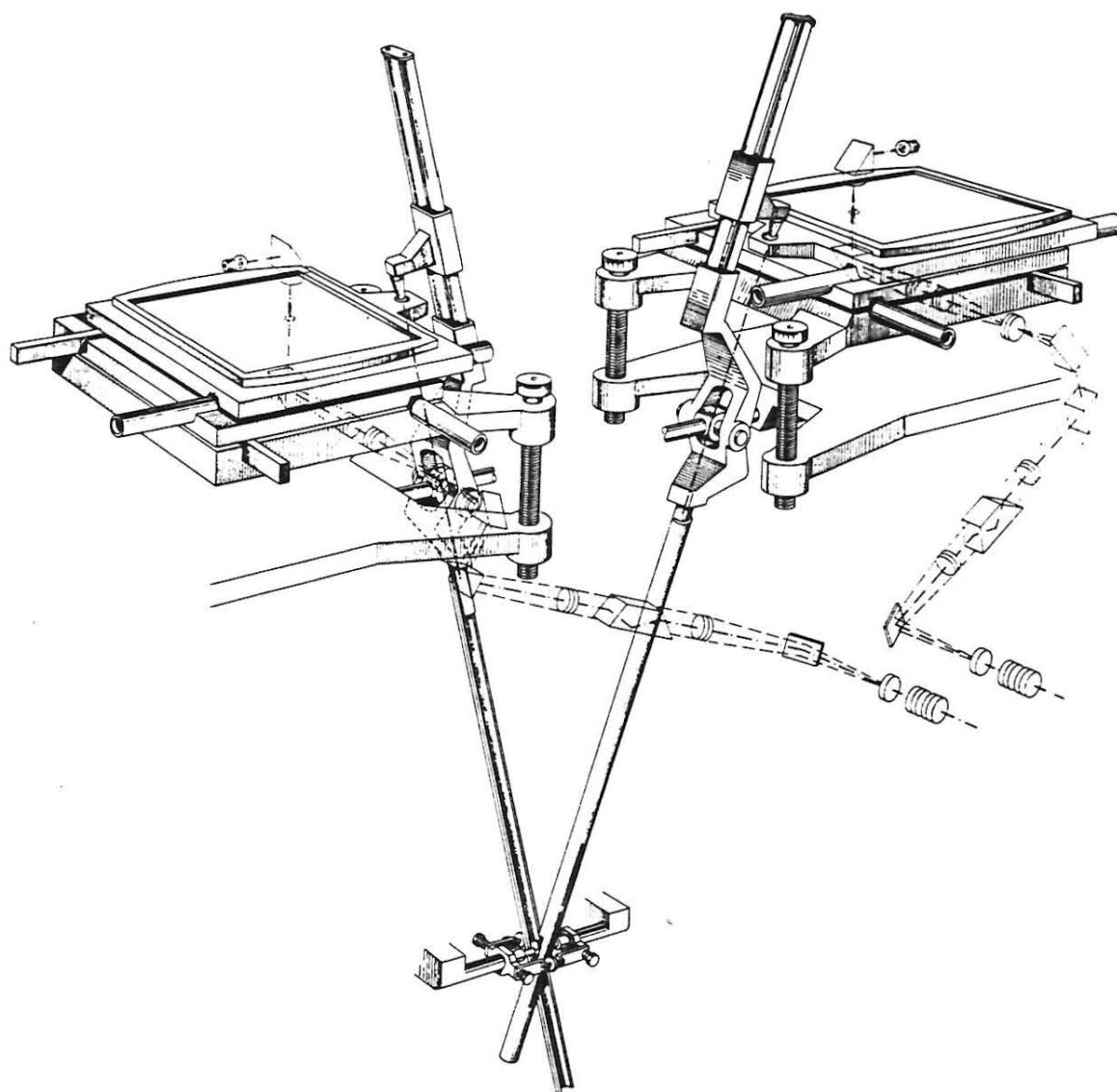


Fig. 7b - Schema ottico-meccanico dello Stereosimplex IIc

Gli strumenti analitici sono più costosi di quelli analogici ma permettono di automatizzare parte delle operazioni e di conseguire una maggior precisione; inoltre non sono vincolati da parametri geometrici di presa (focale della camera da presa, assetto angolare dei fotogrammi all'atto della presa, ecc.) poiché i valori di tali parametri vengono introdotti solo numericamente nel calcolatore e non devono venire materialmente imposti in organi meccanici dello strumento, come nei restitutori analogici. Con i restitutori analitici risultano inoltre molto agevoli le operazioni di triangolazione aerea, operazione della quale diremo in breve più avanti.

4.2.3. *Formazione dei modelli stereoscopici*

In uno strumento analogico le operazioni di formazione del modello del terreno a partire da due fotogrammi avviene attraverso alcune fasi che in modo assai succinto si possono così riassumere:

- *orientamento interno*: consiste nel ricostruire le stelle di raggi proiettanti i punti del terreno collocando i fotogrammi in supporti aventi caratteristiche geometriche identiche a quelle della macchina da presa;
- *orientamento relativo*: consiste nell'annullare la parallasse trasversale (minima distanza fra due raggi omologhi) in almeno 5 punti del modello, con procedure strumentali e attraverso calcoli manuali. In questa fase si prendono in considerazione punti qualsiasi dei fotogrammi, situati negli angoli e nel centro del modello;
- *orientamento assoluto*: consiste nel mettere dapprima nella scala voluta il modello stereoscopico attraverso la conoscenza di due punti del terreno di coordinate note, i quali vengono riportati sull'originale di restituzione nella scala prescelta. Eseguita l'operazione, si passa all'orientamento assoluto vero e proprio, consistente nell'imporre che 5 punti del modello con coordinate note assumano le stesse coordinate nel sistema di riferimento dello strumento.

Queste operazioni risultano molto più semplici nei restitutori analitici, essendo effettuate in forma numerica dal calcolatore associato allo strumento. E' molto importante sottolineare che per l'operazione di messa in scala del modello e per quella d'orientamento assoluto vero e proprio è necessario conoscere le coordinate di un certo numero di punti del terreno compreso nella zona di ricoprimento dei due fotogrammi che formano il modello stereoscopico. Queste coordinate sono le coordinate planimetriche che i punti hanno nel sistema cartografico nazionale e la loro quota sul livello del mare. E' necessario pertanto, come operazione preliminare alla restituzione, determinare le coordinate di questi punti formando una rete di punti uniformemente distribuiti di densità tale da assicurare almeno 5 punti di coordinate note in ogni modello stereoscopico.

4.2.4. *La restituzione dei fotogrammi*

Eseguito l'orientamento relativo e assoluto del modello, inizia la restituzione fotogrammetrica, cioè la proiezione del modello stereoscopico su un piano. Solitamente l'operazione è divisa in due parti:

dapprima si restituisce, per punti, ogni particolare planimetrico e poi si passa alla descrizione altimetrica per curve di livello. Quest'ultima fase avviene fissando la scala delle quote su valori interi corrispondenti alla quota voluta ed esplorando il modello in modo che la marca di riferimento rimanga aderente al terreno.

La descrizione altimetrica è completata dalla quota di punti ben definiti, scritta al loro fianco. L'operatore, una volta collimato il punto da restituire, mediante un apposito comando impone al lapis, inserito in uno speciale pantografo, di segnarlo sul foglio di restituzione, costituito da materiale poliestere indeformabile e posto sul tavolo di restituzione collegato allo strumento.

La restituzione planimetrica avviene quindi per punti se il particolare è geometrico (es.: i 4 spigoli di una casa rettangolare), oppure seguendo una certa linea qualora si tratti di particolare non geometrico in senso stretto (limiti di coltura, ecc.). L'operatore stesso, o un aiuto operatore, provvede poi a collegare fra loro i punti, dando così origine alla rappresentazione grafica del terreno; come già detto queste operazioni possono essere semplificate con l'uso di tavoli-plotter.

Il prodotto che esce dall'operazione di restituzione è la minuta di restituzione, cioè un foglio di materiale plastico indeformabile sul quale il restituitista ha tracciato la planimetria e l'altimetria del terreno.

4.3. *Determinazione degli elementi d'orientamento per i modelli stereoscopici*

Per l'orientamento assoluto dei fotogrammi occorre disporre, come detto, delle coordinate plano-altimetriche di almeno 5 punti in ogni modello stereoscopico. Per effetto del ricoprimento longitudinale del 60% e trasversale del 20% dei fotogrammi, si ha però anche un ricoprimento tra modelli stereoscopici e quindi il numero dei punti necessari è in media di 3 per modello pertanto, ad es., per costruire la carta alla scala 1 : 5.000 della Puglia, per cui come visto occorrerebbero circa 5.000 fotogrammi, si dovrebbero conoscere le coordinate plano-altimetriche di circa 15.000 punti del terreno opportunamente disposti. Questi punti devono essere *fotografici*, cioè ben riconoscibili sui fotogrammi e le loro coordinate devono essere date nel sistema nazionale; per determinarle si ricorre a rilievi topografici convenzionali e alla triangolazione aerea.

La rete in cui s'inquadrano le operazioni topografiche è costituita dai punti trigonometrici e catastali (ved. par. 3-6, cap. 3, parte I), la cui distribuzione è però troppo rada perché possano servire come elementi di orientamento per tutti i fotogrammi necessari ad es., in una

restituzione alla scala 1 : 5.000; inoltre, come visto, mentre i punti Igm sono quotati, quelli catastali generalmente non lo sono; infine questi vertici non sono spesso utilizzabili direttamente non essendo fotografici, cioè non corrispondendo a particolari ben collimabili stereoscopicamente. È pertanto indispensabile ricorrere all'infittimento della rete dei vertici trigonometrici e catastali mediante operazioni topografiche che, con i moderni strumenti, possono essere effettuate con precisione e in tempi accettabili. Poiché però ottenere le coordinate dei punti di orientamento per tutti i modelli stereoscopici risulterebbe egualmente troppo lungo e dispendioso, l'operazione viene come segue:

- si effettua prima un infittimento della rete nazionale con operazioni topografiche, in modo d'aumentare la densità dei punti di coordinate note;
- prendendo come base la nuova rete di punti così ottenuta si determinano mediante la triangolazione aerea le coordinate di tutti i punti necessari all'orientamento dei modelli.

Col termine *triangolazione aerea* si indica una speciale procedura che consente di determinare le coordinate di punti isolati del terreno con tecniche fotogrammetriche anziché topografiche. Vi sono molti metodi per effettuare la triangolazione aerea, basati su tecniche analogiche o analitiche o su entrambe; queste tecniche sono molto complesse e la loro comprensione richiede una conoscenza approfondita degli strumenti topografici e di procedure matematiche; non è possibile, quindi, darne qui una descrizione, anche solo approssimata, e ci si limiterà a indicarne brevemente il concetto informatore.

La triangolazione aerea consiste nel formare un blocco di *modelli stereoscopici* (ved. *supra*, par. 4.2.1), dei quali si esegue solo l'orientamento relativo (operazione che non richiede l'esistenza di punti di coordinate note) e che vengono vincolati tra di loro mediante un certo numero di punti comuni tra i modelli stessi perché situati nelle zone di ricoprimento; questo blocco, di forma approssimativamente quadrata o rettangolare, comprendente un numero di modelli variabile da qualche decina a qualche centinaio, costituisce in pratica un unico grosso modello che viene orientato assolutamente su pochi punti di coordinate note. In seguito a queste operazioni tutti i modelli risultano orientati assolutamente ed è possibile ricavare per ognuno di essi le coordinate di un certo numero di punti di appoggio.

La conoscenza delle coordinate di questi punti consente poi d'effettuare l'orientamento assoluto di ogni modello stereoscopico preso a sé stante, cioè anche quando non è inserito nel blocco. Il numero di punti di coordinate note necessarie all'orientamento dei blocchi è di almeno dieci volte inferiore a quello necessario per l'orientamento di

tutti i modelli; con l'applicazione della triangolazione aerea si realizza quindi un notevole risparmio sia economico sia di tempo essendo tutte le operazioni eseguite in ufficio.

4.4. *La ricognizione sul terreno*

Come detto, con l'operazione di restituzione si riportano sull'originale di restituzione tutti i particolari naturali e artificiali del terreno visibili sulle fotografie e che devono essere riprodotti in conformità alla scala della carta. Alcuni particolari che devono essere riportati sulla carta possono tuttavia non essere ben visibili perché coperti dalle chiome degli alberi o defilati alla vista dall'effetto prospettico della fotografia, oppure non si riesce a distinguerne la natura (ad es. se un certo «oggetto» è un muro o una siepe). In questi casi il restituitista indica sull'originale di restituzione che quel particolare deve essere rivisto a terra.

Pertanto, dopo l'operazione di restituzione deve essere effettuata una *ricognizione* sul terreno in modo da completare la restituzione stessa, risolvendo i punti dubbi e integrando la carta con le informazioni non ricavabili dalle fotografie perché non visibili (ad es. linee interrato di oleodotti o metanodotti). Con la revisione sul terreno l'originale di restituzione viene completato e con questa fase si conclude l'operazione di costruzione della cartografia per quello che riguarda il suo contenuto qualitativo e quantitativo.

Come ultima operazione la carta viene completata con i *toponimi*, cioè con le scritte che consentono l'individuazione delle località, dei fiumi, dei torrenti e, se richiesta, l'individuazione di ogni via o piazza delle zone urbanizzate.

4.5. *Il disegno e le riduzioni di scala*

Completata la minuta di restituzione con la revisione in campagna, si passa alla fase del disegno, nella quale si procede alla lucidatura a china della minuta stessa su materiale indeformabile trasparente.

È in questa fase che si effettua la composizione degli originali di restituzione in fogli aventi il formato e il taglio voluto; con questa ultima espressione si intende l'operazione di suddivisione del territorio rilevato secondo una quadrettatura determinata, che rende possibile iniziare da più parti il rilevamento di un vasto territorio, qual è quello di una regione, senza creare problemi di riattacco tra le varie zone rilevate.

L'operazione di disegno è molto delicata e richiede disegnatori particolarmente addestrati al disegno topografico. Infatti, oltre

alla capacità di non far decadere la precisione metrica dell'originale nella lucidatura dei particolari planimetrici, il disegnatore topografo deve sapere ripassare le curve di livello, che non hanno un andamento regolare e implicano una speciale abilità per essere riprodotte fedelmente.

Se si prevede che la carta debba venire stampata a più colori, il disegno verrà eseguito su tanti supporti quanti sono i colori impiegati; ogni supporto riporterà solo quanto verrà riprodotto in un singolo colore, in modo da permettere l'allestimento dei fotoliti di stampa.

Il lavoro di disegno diventa poi ancora più impegnativo quando vengono effettuate riduzioni di scala dalla carta originale (2), operazione per cui si possono seguire due procedimenti, l'uno puramente fotografico e l'altro integrato dal ridisegno. Si ricorre al primo quando la riduzione di scala permette ancora la leggibilità della carta: effettuata la riduzione fotografica, il lavoro consiste unicamente nell'unire i fogli originali ridotti in modo da formare dei fogli che abbraccino una superficie di territorio maggiore. Quando invece la riduzione di scala è tale per cui verrebbe compromessa la leggibilità della carta, bisogna fare seguire alla riduzione fotografica un suo ridisegno semplificandone opportunamente il contenuto attraverso l'eliminazione dei particolari naturali e artificiali del terreno non omogenei alla nuova scala e ricorrendo ad altri interventi, in modo da conferire alla carta le caratteristiche qualitative e metriche che le competono.

4.6 *L'elaborato finale*

L'elaborato finale consegnato al cliente è una fotoincisione del disegno a china effettuata su materiale plastico indeformabile trasparente, generalmente non utilizzata per uso corrente ma impiegata per la produzione della matrice di stampa, quando viene effettuata, e conservata quale base di riferimento per i futuri aggiornamenti.

La fotoincisione può essere effettuata in due modi:

2. Molto spesso viene infatti richiesta dal committente una seconda carta, derivata da quella originale, ma a una scala minore, per avere una visione più generale del territorio. Ad es., se la carta originale è nel rapporto 1 : 5.000, può venire ordinata la stessa carta alla scala 1 : 10.000 o 1 : 25.000. Queste operazioni di riduzione sono sempre lecite, mentre un procedimento inverso, che porterebbe ad esempio a ingrandire alla scala 1 : 10.000 una carta al 25.000, sarebbe, come visto al cap. 4, privo di senso.

- a. *al diritto*: il disegno viene inciso sulla superficie anteriore del supporto e quindi si presenta direttamente alla vista;
- b. *al rovescio*: il disegno viene inciso sul retro e quindi viene visto per trasparenza attraverso il supporto stesso.

La richiesta di un supporto «al diritto» o «al rovescio» va fatta in funzione del procedimento di stampa che si intende adottare per la riproduzione della carta.

L'operazione di fotoincisione viene preceduta dalla preparazione dei retini che devono ricoprire gli edifici delle zone urbanizzate. Essi vengono realizzati su un apposito supporto che all'atto della fotoincisione viene sovrapposto al disegno, in modo da potere ottenere riproduzioni con o senza retinatura, cosa utile perché, specie per la stesura dei progetti, è preferibile una carta senza retinatura, in modo che sia più facile evidenziare con colori o con retini la destinazione d'uso degli edifici.

Possono anche venire richieste una o più serie di riproduzioni del disegno originale su supporto elioriproducibile, un supporto di minor pregio di quello impiegato per la fotoincisione ma che presenta il vantaggio di poter essere utilizzato moltissime volte per la produzione di eliocopie senza deteriorarsi. Gli elioriproducibili, come la fotoincisione, devono venir prodotti con bromografi piani, in modo che il contenuto metrico della carta originale non subisca alcun decadimento.

Generalmente per la maggior parte dei rilievi cartografici a scala media non si effettua una riproduzione a stampa, i cui costi sarebbero giustificati solo nel caso di una vasta diffusione della carta ipotesi questa però che pare possa verificarsi per la cartografia tecnica regionale. Se si prevede una larga diffusione, si deve valutare l'opportunità di realizzare la carta in bianco e nero o a tre colori (che potrebbero essere: nero per l'urbanizzato, la viabilità e i toponimi: marrone chiaro per le curve di livello e blu per i corsi d'acqua); se si decide per il colore, come si ricorderà, i disegni degli originali di restituzione dovranno essere eseguiti su tre supporti differenti, in modo che da essi sia possibile ricavare le tre matrici di stampa.

4.7. *Produzione di cartografia numerica*

Allo stato attuale si può affermare che la produzione di cartografia di base col metodo fotogrammetrico è rivolta pressoché esclusivamente alla produzione di cartografia in forma grafica, cioè nella consueta forma di carta disegnata. Tuttavia, nella prospettiva di un suo più proficuo inserimento nei sistemi informativi territoriali, la carto-

grafia di base deve essere trasferita dalla sua forma grafica in una numerica, elaborabile dal calcolatore; le metodologie e le strumentazioni all'uopo impiegate verranno descritte più avanti. Si vuole invece fare cenno in questo paragrafo a un modo nuovo di affrontare il problema.

I moderni restitutori analitici, o anche i più comuni restitutori analogici purché dotati di dispositivi di misurazione automatica delle coordinate strumentali, consentono di ricavare automaticamente le coordinate planoaltimetriche di tutti i punti usualmente restituiti graficamente per la costruzione della carta. Pertanto, anziché seguire il procedimento comunemente adottato per il trasferimento in forma di banca dati di una cartografia di base e che consiste nel numerizzare, mediante tecniche basate sull'impiego del digimetro, la cartografia in forma grafica, si stanno sperimentando nuove metodologie volte a ottenere direttamente la cartografia di base in forma numerica. Queste sperimentazioni, condotte non solo in ambiti universitari ma anche da alcune imprese fotogrammetriche dotate di strumentazioni molto avanzate, riguardano principalmente la realizzazione di cartografia numerica dei centri urbani e in particolare la cartografia a grandissima scala dei centri storici.

5. La costruzione delle fotocarte

5.1. *Differenza tra carta fotogrammetrica e fotocarta*

Come visto, l'elemento fondamentale che differenzia una carta fotogrammetrica da una fotocarta è l'essere la prima disegnata e la seconda ottenuta direttamente dalla proiezione della fotografia: essa si presenta quindi come un ingrandimento fotografico.

Nella costruzione della carta fotogrammetrica classica il restituitista effettua, all'atto della restituzione, una fotointerpretazione della fotografia e riproduce con il tratto della matita gli elementi naturali e artificiali del terreno, fornendo così un prodotto estremamente facile da «leggere». Necessariamente, però, opera delle semplificazioni; ad es. di un'area coperta da bosco indicherà solo i limiti del bosco, corredandoli con un segno convenzionale. Guardando la carta non si avrà, pertanto, un'idea precisa della reale consistenza del bosco, cioè della sua fittezza o dell'eventuale esistenza di piccole radure, ecc. Il ftopiano e l'ortofotocarta lasciano invece inalterata l'informazione qualitativa che esiste sulla fotografia, di cui sono una fedele riproduzione, ma obbligano l'utente a effettuare ogni volta

PARTE IV

FOTOINTERPRETAZIONE FORESTALE

FOTOINTERPRETAZIONE

INTRODUZIONE.

Generalità.

Le fotografie aeree inizialmente utilizzate solo per scopi militari, trovano oggi sempre più frequente applicazione in campi diversi, che vanno dalla geologia in generale all'ingegneria civile, alla pedologia, alle scienze forestali, all'archeologia, alla sociologia e di recente, all'individuazione di inquinamenti sia nelle acque continentali e marine che nell'atmosfera.

La base di qualsiasi lavoro di fotointerpretazione è data dall'esistenza di strettissimi rapporti di dipendenza fra le caratteristiche del suolo e di tutti gli oggetti che si sono sviluppati su di esso o che si trovano in profondità (s'intende con le dovute limitazioni) e le caratteristiche delle fotografie aeree che ne sono l'espressione ottica o fotografica. A seconda del tipo di ricerca, il fotointerprete dovrà fare delle fotografie un uso diverso, consistente nel dare maggiore o esclusiva importanza a quelle caratteristiche o a quei parametri delle foto che meglio servono agli scopi del lavoro.

Vediamo ora, sia pure sommariamente, quali possono essere i principali usi delle fotografie aeree.

Ricerche geologiche.

Nel caso di ricerche geologiche il risultato che si deve ottenere è rappresentato dalla compilazione di una carta geologica, la cui scala (e quindi il cui dettaglio) dipende dal tipo particolare di ricerca, dal fatto che la carta abbia il carattere di carta preliminare o di lavoro definitivo e, infine, dalla scala delle fotografie. Una carta fotogeologica deve comunque essere in grado di dare informazioni ben precise sui seguenti argomenti:

- sulle unità litologiche, spesso corrispondenti ad unità litostratigrafiche, sia a livello di gruppo che di formazione e spesso anche di membro ed orizzonte;

- sulla giacitura degli strati, riportando le direzioni di strato ed i valori delle pendenze; tutte le volte che è possibile questi valori devono venire calcolati ricorrendo all'impiego della barra di parallasse, altrimenti si può fornire di queste pendenze una valutazione approssimativa, raggruppandole in un certo numero di categorie e classificandole nel modo seguente: "deboli", "moderate", "forti" e "verticali o sub-verticali";

- sulla continuità degli strati e delle strutture, sia per mezzo ancora delle direzioni di strato che delle cosiddette linee di forma (*contour lines*); queste ultime, che vengono tracciate seguendo sui fotogrammi le testate degli strati, permettono di contornare la struttura, cioè di seguirne lo sviluppo, e quindi di darne un'idea dell'estensione oltre che della forma;

- sull'esistenza, sull'orientamento e sull'estensione delle dislocazioni: faglie, fratture, *joints*, etc;

- sugli elementi morfologici più importanti: terrazzi alluvionali, conoidi, frane, etc.;

- sugli elementi topografici necessari per la preparazione di una carta topografica sia a carattere preliminare che definitivo.

Il complesso delle operazioni che si devono svolgere durante un lavoro di fotointerpretazione e la loro logica successione può essere sintetizzata secondo lo schema di fig. 47.

Ricerche idrogeologiche.

Anche in questo caso è richiesta la compilazione di una carta geologica, che deve soprattutto porre in evidenza i tipi litologici affioranti in relazione alla loro porosità e permeabilità, cioè alla loro capacità di assorbire e trattenere acqua. Queste proprietà fisiche dei terreni vengono poste in risalto dallo studio dettagliato dell'idrografia della zona, della vegetazione, delle eventuali coltivazioni presenti e, in definitiva, di tutti quegli elementi che possono rivelare anche soltanto tracce di umidità.

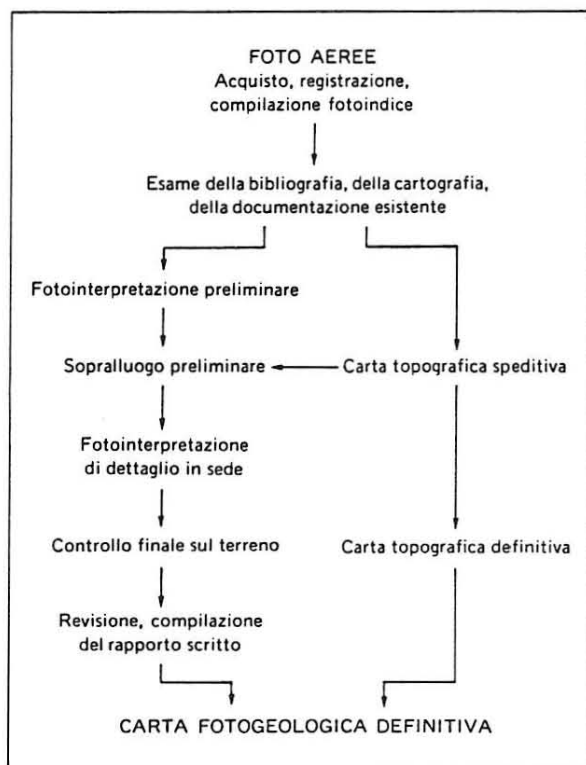


Figura 47. Schema delle operazioni di fotointerpretazione.

Durante lo studio delle fotografie aeree per ricerche d'acqua, è chiaro che bisognerà rivolgere particolare attenzione a quelle che possono essere le condizioni più favorevoli rappresentate dai depositi alluvionali in genere, cioè le alluvioni dei corsi d'acqua, le grandi conoidi detritico-torrentizie, le valli abbandonate e riempite di materiali alluvionali e detritici, i nuclei delle sinclinali, le grandi linee di dislocazione che rappresentano quasi sempre degli ottimi drenaggi naturali, etc.

Ricerche minerarie.

Questo tipo di ricerca non contempla, in genere, la compilazione di una carta geologica, in quanto al fotointerprete non interessano tanto la stratigrafia e la tettonica della zona, quanto l'individuazione di fenomeni particolari che permettano di rivelare l'esistenza di un giacimento minerario economicamente utile, cioè sfruttabile.

Questi giacimenti possono essere dati dalla concentrazione di minerali particolari in rocce sedimentarie e depositi alluvionali oppure, più di frequente, da iniezioni magmatiche in rocce incassanti di qualsiasi natura. Mentre nel primo caso le difficoltà sono notevoli e ci si deve basare più che altro sulla diversa colorazione di queste concentrazioni, nel secondo caso lo studio delle foto è agevolato dalla possibilità di sfruttare caratteristiche diverse, quali quelle della morfologia,

dell'idrografia superficiale, della vegetazione ed infine la colorazione. Infatti tali corpi iniettati presentano una morfologia ben diversa da quella che si può osservare nelle aree circostanti, dando origine a creste o a rilievi tondeggianti più resistenti all'erosione; sono privi di un'idrografia superficiale, cioè non rivelano deflussi superficiali incanalati; risultano caratterizzati da una vegetazione diversa per tipo e densità da quella delle zone adiacenti. Spesso la presenza di corpi iniettati può essere segnalata dalla comparsa di sistemi di fratture, diversi per orientamento, da quelli propri della regione, dalla comparsa di strutture particolari nelle rocce incassanti e dall'esistenza delle "aureole di contatto" messe in risalto da colorazioni del tutto originali.

Ingegneria civile.

In questo campo lo studio delle fotografie aeree è volto non soltanto alla conoscenza delle condizioni geologiche della zona nella quale deve sorgere una qualsiasi opera d'ingegneria civile, ma anche all'individuazione delle zone in frana e dei versanti in condizioni di stabilità precaria (con un'approssimazione talora di gran lunga maggiore di quella che si potrebbe avere con dei sopralluoghi) e alla raccolta di tutte le informazioni utili per l'apertura delle cosiddette "cave di prestito", cioè per il reperimento in loco dei materiali necessari alla costruzione dell'opera stessa.

In campo urbanistico le foto sono divenute ormai un indispensabile strumento di lavoro sia da un punto di vista strettamente tecnico e catastale sia da un punto di vista sociologico. Infatti la foto permette di avere una visione d'insieme ben chiara su tutto quello che è stato lo sviluppo urbanistico di un determinato centro urbano e, nello stesso tempo, di individuare con cura le aree di espansione edilizia, sia in funzione della geologia della zona (questo vale in particolare per le zone montane), sia in funzione di condizioni particolari, programmate in precedenza, quali le zone di "verde pubblico", le zone di "verde privato", quelle da destinarsi alle attrezzature sportive, etc.

Anche la scelta del tipo di edilizia può trovare un valido aiuto nella consultazione delle fotografie aeree, grazie alla possibilità di avere sempre sotto gli occhi una veduta d'insieme stereoscopica dell'area interessata, con tutti i vantaggi collaterali conseguenti come il poter confrontare quartieri vicini, verificare le altezze degli edifici, controllare i tipi di copertura dei fabbricati e così via.

Pedologia e agricoltura.

Lo scopo finale di una ricerca pedologica è dato dalla compilazione di una carta dei suoli. In questo caso il contributo più valido è offerto dalle foto a colori, il

cui studio deve però essere sempre accompagnato da accurate indagini sul terreno, dato il gran numero di categorie di suoli esistenti.

In agricoltura il lavoro del fotointerprete consiste nel distinguere le colture esistenti e nell'individuare le zone coltivabili sulla base di condizioni morfologiche favorevoli, di risorse idriche sufficienti e di un tipo di terreno idoneo allo scopo.

E' possibile fare anche delle buone previsioni sull'entità di un raccolto; si osservi a questo proposito, lo stereogramma di fig. 48: nei riquadri A e B sono visibili due campi coltivati a grano, il secondo dei quali (B) presenta una colorazione meno uniforme di quella del primo (A), caratterizzata da chiazze a differenti tonalità di bruno. Ciò significa che la densità della coltura è variabile e che le chiazze più chiare sono dovute al colore proprio del suolo, piuttosto che a quello del grano; quindi il campo B darà, a parità di superficie e di ogni altra condizione, un raccolto inferiore a quello del campo A, specialmente nella parte più vicina all'autostrada.

Scienze forestali.

Per quanto riguarda lo studio della vegetazione in generale, la fotografia aerea si presta ad impieghi diversi, che vanno dall'identificazione del tipo di bosco e delle specie arboree, al calcolo del volume di legname che si può ricavare dal taglio di un certo bosco, allo studio dei versanti che devono essere oggetto di rimboschimenti, al tempestivo accertamento del diffondersi di malattie o di epidemie d'insetti.

Nel primo caso le possibilità del fotointerprete dipendono, oltre che dall'esperienza in simili ricerche, dalla scala delle fotografie e dalla stagione in cui queste ultime sono state riprese. Le caratteristiche delle foto che si sfruttano per riconoscimenti di questo tipo sono soprattutto la tessitura fotografica, cioè il modo in cui si presentano le immagini dei tronchi (liscie o rugose), le differenze di tonalità, le dimensioni relative delle piante, i tipi di arborescenza e anche la forma delle ombre delle piante proiettate sul terreno (quest'ultimo carattere distintivo è particolarmente significativo nel caso delle conifere).

Il calcolo del volume di legname ricavabile dal taglio stagionale di un bosco è facilmente eseguibile, dato che si può misurare, sulle fotografie, sia l'altezza che il diametro del tronco di una pianta e dato che si possono contare, sempre sulle foto, le piante da destinare al taglio. La fig. 49 mostra due riprese a colori e in bianco e nero, della stessa zona del Parco Nazionale Rogue River nell'Oregon (U.S.A.); gli alberi più bassi sono riferibili al tipo *Pinus ponderosa* e sono di altezza variabile da 1 a 4 m.

Nei paesi provvisti di ampie distese boschive, le foto

aeree costituiscono ormai l'unico mezzo economicamente valido per tenere sotto controllo questo inestimabile patrimonio naturale, sorvegliandone costantemente lo sviluppo.

In tal caso, si scelgono un certo numero di aree, dette aree campione, che vengono fotografate ad intervalli di tempo regolari; i risultati ottenuti dallo studio di tali fotografie vengono poi estrapolati all'intera foresta.

Il tipo di rimboschimento più idoneo alla sistemazione idraulico-forestale di un bacino montano, può facilmente individuarsi sulla base delle informazioni relative alla litologia, all'idrografia, all'acclività dei versanti etc., che possono venire fornite dalle fotografie aeree della zona.

Per quanto riguarda infine l'ultimo punto, si è già detto come le foto all'infrarosso a colori permettano di scoprire la presenza di malattie o di invasioni d'insetti con un notevole, per non dire rilevante, anticipo sull'osservazione diretta.

Archeologia e sociologia.

Obiettivo del fotointerprete, nel caso di indagini archeologiche, è il poter individuare nel sottosuolo, a profondità ovviamente modeste, la presenza di opere murarie. E' ovvio che ciò è possibile solamente per via indiretta; infatti il minore spessore di terreno in corrispondenza di opere sepolte, produce delle variazioni nella vegetazione sia in riferimento al tipo che allo sviluppo delle piante; di frequente questi muri sepoliti trattengono l'umidità più a lungo del terreno circostante, rivelandosi così in superficie per mezzo di ombreggiature più scure che ripetono il disegno geometrico delle costruzioni profonde; talvolta lo studio della disposizione geometrica di nuove costruzioni, permette di scoprire i tracciati di antiche mura o le piante di antichi agglomerati urbani, quando le prime risultano impostate sui secondi.

Anche in campo sociologico la fotografia aerea può essere di valido aiuto nello studio della densità e distribuzione degli edifici ad uso di abitazione; nella programmazione di nuovi centri abitati, di importanti opere pubbliche e di impianti sportivi; nella stesura dei Piani regolatori sia dei grandi centri sia dei piccoli Comuni delle zone di montagna.

La fig. 50 mostra uno stereogramma riprodotto da un campeggio di roulotte (all'interno del riquadro contrassegnato dalla lettera B). Osservando la geometrica disposizione delle roulotte parcheggiate, si può notare come ad alcune di esse siano state aggiunte delle strutture a pianta rettangolare e come vi siano anche in chiara evidenza dei capannoni isolati. Tutto ciò induce a pensare che il parcheggio non sia provvisorio ma che debba rimanere in attività per un lasso

3.1. - GENERALITÀ

Interpretare una fotografia è l'operazione mediante la quale dalle immagini fotografiche si identificano gli oggetti reali e se ne definiscono categoria, natura, relazioni con l'ambiente, ecc.. Il legame fra fotointerpretazione e fotogrammetria sta nella necessità, determinate volte, di ricorrere a misure per l'accennata identificazione e nella opportunità di presentare alla fine dello studio qualitativo, un documento di tipo cartografico che riassume i risultati raggiunti.

Distingueremo due fasi del lavoro interpretativo:

- la fotolettura (o fotoidentificazione) con la quale si identificano soltanto (o quasi) i vari oggetti;
- la fotointerpretazione vera e propria, analisi metodica che correla fra loro gli oggetti individuati e, ricorrendo anche ad altre fonti di consultazione (carte, testi, ecc.), conduce a deduzioni ed informazioni non direttamente visibili sulla fotografia;

ovviamente tali due fasi si accavallano essendo sempre necessaria, durante la seconda, ritornare alla fotolettura in cerca di conferme che possono essere sfuggite durante gli esami precedenti. Di solito quindi si parla in senso generico di fotointerpretazione conglobando in tale vocabolo ambedue le fasi, ed è quello che faremo in queste lezioni.

Un tempo il fotointerprete poteva accontentarsi di esaminare una sola fotografia, o più usualmente un solo stereogramma (coppia stereoscopica di fotografie), prevalentemente in bianco e nero.

Oggi le pretese sono aumentate in quanto si vuole giungere ad individuare oggetti le cui immagini fotografiche sono assai spesso poco differenziate; ciò richiede che le fotografie da esaminare siano, per la stessa zona in studio, di caratteristiche variamente raggiungere, per quel particolare oggetto che interessa l'immagine che presenta la massima differenziazione, rispetto alle immagini circostanti, e quindi la più facile e sicura identificazione.

Le fonti di informazione (fotografie nel caso specifico) devono quindi avere una caratteristica di «pluralità», devono cioè risultare (15):

- a) - riprese da più punti di vista

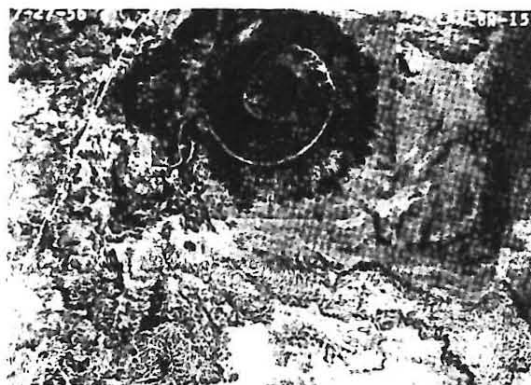
non solo scelti fra quelli successivi della strisciata (per assicurare la visione stereoscopica) ma disposti anche in modo vario rispetto alla direzione di illuminazione solare;

- b) - a scale diverse

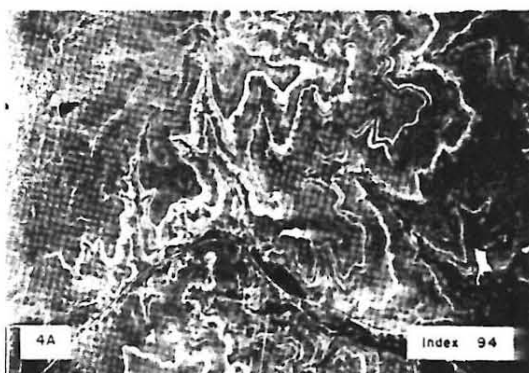
che consentano un esame a diverso livello (multistage) con una acquisizione di dati sempre più dettagliati sulla zona in esame (con ovvia riduzione in ampiezza di questa). L'ultimo livello, da tenere presente, sarà l'indagine finale sul terreno.



Domo salina poco pronunciata con colture agrarie ed impianti di sondaggio petrolifero (margine orientale del delta del Mississippi).

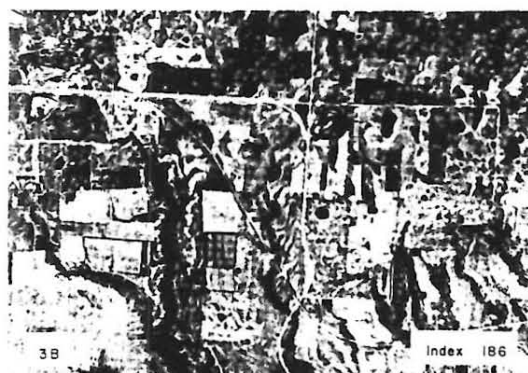


Cono vulcanico estinto (Capulin Mountain) che si innalza di 350 m circa sulla circostante pianura lavica. La caldera centrale è profonda 130 m.



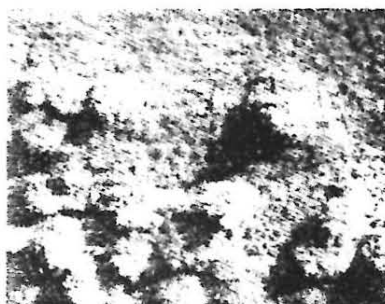
Gli strati orizzontali di calcare affiorando in queste colline del Kansas, simulano le curve di livello. Numerosi piccoli laghetti nelle infrattuosità servono per il bestiame, unica risorsa di questa zona inadatta alle colture.

(Phot. Eng., XXXIII, 12, pag. 1402)



Caratteristico aspetto del paesaggio morenico glaciale caratterizzato da rilievi poco pronunciati (knob) e da depressioni circolari (kettle) spesso occupate da laghetti.

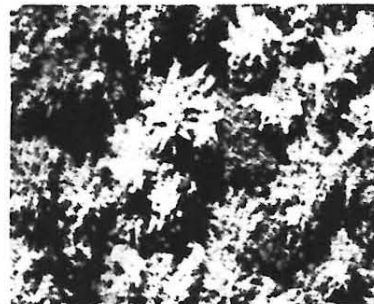
Riconoscimento delle essenze arboree dalla forma delle chiome. (Phot. Eng., XXVII, 5, pag. 792).



Picea glauca: tronco unico, diritto, centrale, con chioma densa e simmetrica a forma conica, cima smussata.



Acer rubrum: in suolo povero o asciutto è un arbusto, ma in zone umide raggiunge dimensioni di albero con tronco normalmente suddiviso, rami principali orizzontali che si suddividono in numerose ramificazioni ascendenti.



Pinus strobus: caratteristico per la chioma a forma stellare irregolare a causa dei rami più lunghi.



La fotografia bianco-nero all'infrarosso accresce la differenziazione fra le varie essenze arboree e consente una netta distinzione fra le particelle boschive (a = rimboschimento; b = fustaia di faggio; c = fustaia di abete bianco e faggio con ceduo di faggio; d = pseudotsuga douglasii; e = fustaia di abete bianco; s = strade).

c) - con diversa inclinazione dell'asse ottico

è evidente il vantaggio di possedere un documento nadirale per una esatta valutazione delle forme e misura delle dimensioni ed una o più vedute oblique che possono facilitare l'identificazione o mettere in risalto determinate immagini;

d) - riprese in epoche diverse

onde mettere in risalto le variazioni intervenute nel paesaggio sia come suoi costituenti (diradamento alberi, obliterazione strade, ecc.) sia come sue condizioni (es. estendersi di una infezione nelle colture, ecc.);

e) - elaborate in modo vario e diverso

come accade nel caso delle fotografie pluribanda che vengono fuse in vario modo con procedimento che può essere sfruttato anche per la fusione di altre immagini diverse (pluribanda, plurisensore, ecc.). Esistono due tipi fondamentali di fusione:

- combinazione ottica con proiezione di diapositive bianco e nero diverse attraverso filtri azzurro, verde e rosso;
- combinazione elettronica che presenta un minore contrasto ed una minore nitidezza rispetto alla precedente ma che consente però una più facile, economica e varia manipolazione dei valori tonali nella proiezione su schermo televisivo a circuito chiuso;

f) - pluribanda

già note attraverso la trattazione che ne è stata fatta nel testo;

g) - riprese con sensori diversi

che è in certo qual modo una estensione della tecnica pluribanda al di fuori del campo del visibile ottenendo immagini attraverso registrazioni di radiazioni di maggiori lunghezze d'onda (eccezionalmente, almeno per ora, anche di minore lunghezza d'onda come i raggi UV);

h) - affiancate ad altri documenti

come testi, cartografia tematica, rilevamenti a terra (a questo proposito è da tener presente che a fianco della teledetezione (remote sensing) esiste anche una macrodetezione (proximal sensing);

i) - a diversa polarizzazione

particolari effetti possono ricavarsi con riprese effettuate con filtri di polarizzazione orientati ortogonalmente fra loro che diversificano i particolari che hanno capacità di polarizzazione (vedi analogia con quanto detto per lo SLAR).

3.2. - I FATTORI DELLA FOTOINTERPRETAZIONE

145

Il riconoscimento degli oggetti attraverso le loro immagini fotografiche si basa su alcune caratteristiche che tali immagini assumono sul fotogramma. A seconda dei casi ha importanza preponderante l'uno o l'altro di tali « fattori » che prenderemo ora in esame singolarmente.

3.2.1. - Tono

Con riferimento alle fotografie bianco e nero il tono è determinato dalla gradazione di grigio che ha l'immagine fotografica (o parte di essa). Tale gradazione, che va dal bianco al nero (quali casi estremi), è ovviamente determinata dalla « densità ottica » (= grado di annerimento o di opacità) del negativo nel punto considerato e dai processi di stampa del negativo stesso.

La « densità ottica » è come noto legata, tramite la curva caratteristica, alla « esposizione » che ha subito il materiale sensibile e questa è definita a sua volta dal prodotto: quantità di luce ricevuta (per riflessione) dall'oggetto in esame per il tempo durante il quale tale luce ha potuto agire sul materiale sensibile (tempo di esposizione).

Vediamo quindi che il « tono » di una immagine bianco e nero risulta influenzato da:

- natura del materiale sensibile (cioè famiglia di curve caratteristiche);
- caratteristiche di riflessione della luce da parte dell'oggetto (espresso da una curva di riflessione spettrale);
- dati di presa (in particolare tempi di esposizione);
- dati di sviluppo (cioè individuazione di una data curva caratteristica nella famiglia delle curve del materiale);
- dati di stampa.

Nel caso di immagini a colori la gamma dei toni si arricchisce, in quanto:

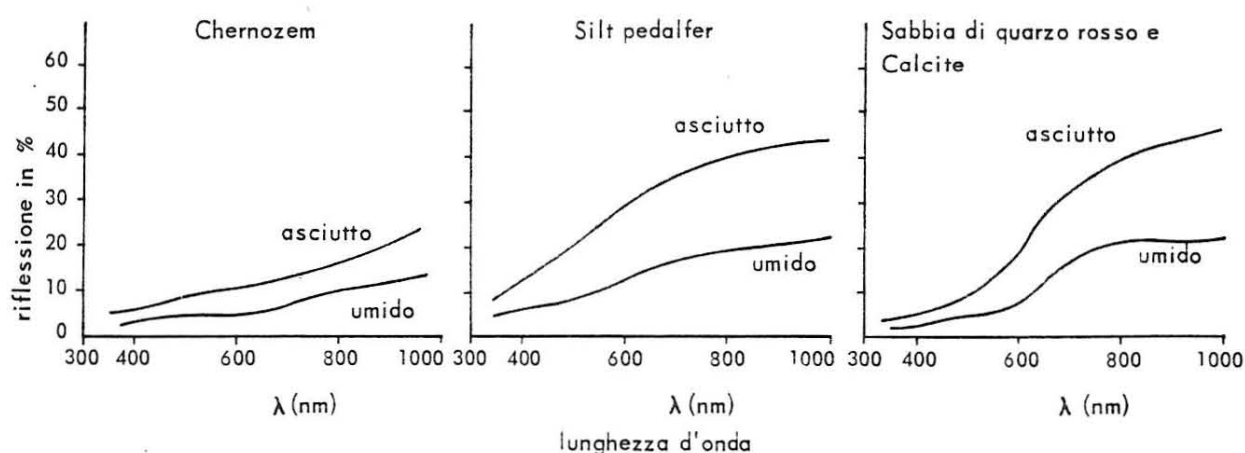
- anziché da toni del solo grigio l'immagine sarà caratterizzata dai tre dati cromatici: tonalità, cioè tipo di colore (verde, azzurro, ecc.); saturazione, cioè purezza o vivacità del colore (dal grigio al colore puro); luminosità, cioè intensità del colore (dal bianco al nero);
- le curve caratteristiche del materiale a colori sono triplici riferendosi ai tre diversi strati sensibili dell'emulsione;
- l'influenza dello sviluppo aumenta con il numero di bagni (anche se non tutti determinanti);
- l'influenza infine della stampa diventa preponderante per l'effetto che si può raggiungere con l'impiego, nella stampa, di filtri colorati (ovviamente quest'ultimo fattore cade nel caso di impiego di materiale invertibile, cioè a diapositiva, il quale dà quindi risultati meno aleatori).

L'influenza dei dati di presa, sviluppo e stampa ci conduce alla conclusione che, almeno in linea teorica, non si potrà mai definire a priori un valore assoluto di tonoper

un dato oggetto fotografato con un dato materiale sensibile ma i confronti dovranno essere sempre condotti su di un piano di relatività (la tale coltura confrontata con altre presenti nella zona; quel tipo di roccia rispetto ad altri tipi, ecc.) anche perchè le caratteristiche di riflessione della luce, che abbiamo legate all'oggetto fotografato, sono in realtà esse stesse molto variabili perchè influenzate oltre che dal tipo di oggetto (querchia, calcare, ecc.) anche dalle sue condizioni fisiche (il che può tornare utile per individuare ad esempio l'umidità di un suolo, lo stato di sanità di un albero, ecc.) e, dalla sua posizione rispetto al sole ed alla macchina da presa: un bosco apparirà di grigio più chiaro o più scuro secondo se si è fotografata la parte in luce o quella in ombra delle chiome (secondo cioè che il bosco sia da parte opposta o dalla stessa parte del sole rispetto alla macchina da presa).

Della variabilità di tutti questi fattori si dovrà tener conto nella fotolettura anche soltanto da un punto di vista di valutazione grossolanamente qualitativa. Un esame più approfondito potrà essere invece condotto su base quantitativa considerando l'accennata curva di riflessione spettrale dei singoli oggetti, possibilmente nelle loro varie condizioni fisiche, cioè l'intensità di riflessione delle radiazioni solari delle varie lunghezze d'onda; anche per potere, eventualmente, scegliere in fase di presa quei materiali e quelle tecniche che evidenziano le radiazioni di quelle lunghezze d'onda per le quali nell'oggetto in esame si ha la maggiore differenziazione rispetto agli oggetti circostanti (ad es. le essenze arboree presentano la maggiore diversità di riflessione per le lunghezze d'onda dell'infrarosso e per tale ragione le maggiori informazioni, in un inventario sulla vegetazione, si ricavano da materiali sensibilizzati per l'infrarosso, mentre un materiale ortocromatico sarebbe inadatto poichè la diversificazione fra le essenze è minima nel campo delle radiazioni verdi, con solo una leggera accentuazione fra latifoglie ed aghifoglie).

Un primo esempio di utilizzazione della curva di riflessione spettrale c'è fornita confrontando le curve di diversi suoli.



Notiamo per prima cosa come ogni tipo di suolo presenti un andamento delle curve più o meno specifico e caratteristico:

- **chernozem** (terra nera a impasto sciolto, sgretolabile, ricca di humus e di componenti basici) riflessione generalmente bassa con aumento regolare nell'intero campo (in qual-

che esempio aumento nell'ultravioletto, azzurro e verde e si mantiene costante nel campo rosso e infrarosso);

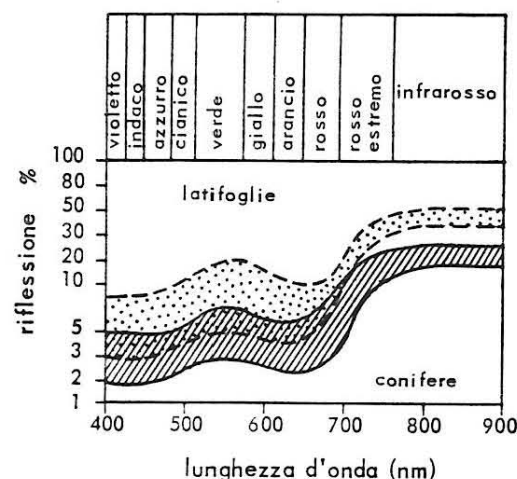
- pedalfer (suolo lisciviato senza componenti basici e solo con composti di Al e Fe) riflessione che aumenta rapidamente, specie se il suolo è asciutto, da 320 a 450, ove si ha una piccola inflessione, con successivo ulteriore aumento di pendenza nella curva a 480, a 580 e da 600 a 700 leggere inflessioni, a 750 diminuzione e oltre 780 scarse variazioni al variare di λ ;
- sabbia quarzosa, ha riflessione bassa fino a 530 poi un rapido innalzamento fino a 580 ove si ha una diminuzione della pendenza della curva, da 620 a 740 una inflessione moderata, a 740 un'altra sensibile che porta la curva ad essere quasi costante con λ .

Si osserva poi che un suolo umido ha sempre una minore riflessione rispetto allo stesso asciutto; quindi le zone umide forniranno nella presa un valore minore di esposizione e quindi nel negativo risulterà una minore densità ottica che darà luogo nella stampa ad una immagine più scura. Potremo così stabilire in una zona di suolo omogeneo quello più o meno asciutto (umido) secondo che esso figurerà più o meno chiaro. In questo campo sarà possibile (61) in determinate zone (es. Olanda) tracciare delle carte che evidenziano tale diversità di condizioni: es. colore rosso (o azzurro) tanto più intenso quanto più il terreno è asciutto (o umido). Tali carte potranno risultare utilissime in vari lavori di ingegneria (es. costruzione piste di atterraggio su terreno di caratteristiche omogenee, opere interrate in terreni asciutti, ecc.)

Il semplice confronto dei toni può condurre a molte altre semplici fotoletture: es. ricostruzione di condizioni antiche del terreno (es. dune interrite rotte dal mare); del reticolo idrografico (es. antico andamento di un corso d'acqua rivelato sia dalla vegetazione sia dall'andamento dei campi, sia dalla diversa permeabilità del terreno e quindi dalla sua umidità, che si deduce dal tono più scuro delle immagini); di insediamenti umani interriti (la cui ricostruzione deve però essere oggetto di una ben più seria e vasta fotointerpretazione).

Per la vegetazione possiamo effettuare un discorso un poco più approfondito.

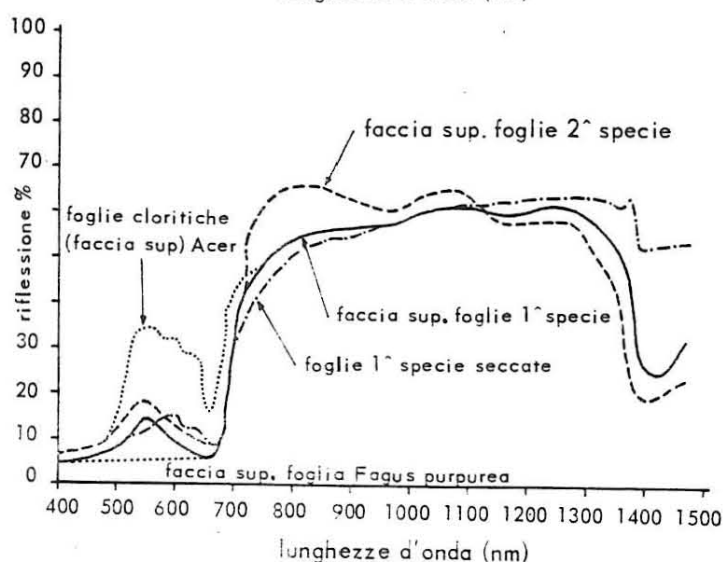
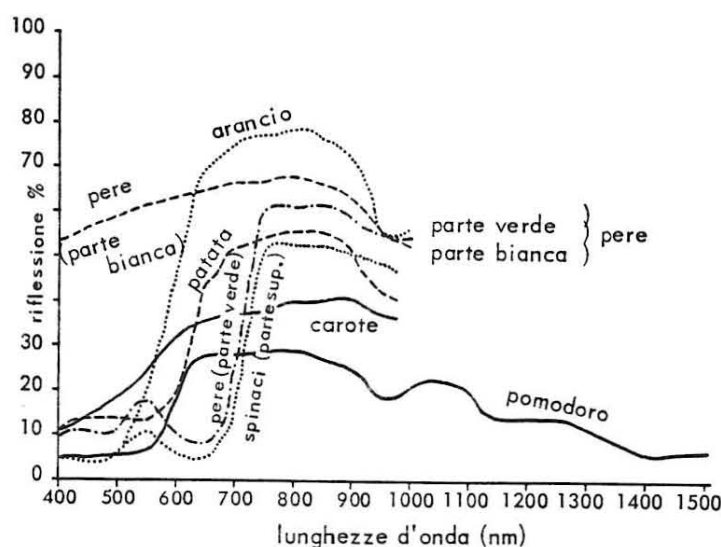
Se si vogliono sintetizzare le risposte densitometriche (annerimenti) dei materiali sensibili alle radiazioni riflesse dalla vegetazione arborea nel campo del solo visibile



possiamo suddividere (14) questa in due gruppi generici: latifoglie e conifere. Le prime hanno sempre una riflessione maggiore delle seconde, particolarmente per radiazioni di lunghezza d'onda oltre il rosso; l'andamento generale può così riassumersi per ambedue i gruppi:

- bassa riflessione nel violetto ed indaco;
- successivo aumento nell'azzurro che continua nel cyan con massimo nel verde;
- poi diminuzione attraverso il giallo e l'arancio fino a un minimo nel rosso;
- brusco e forte aumento del rosso;
- stabilizzazione a riflessione alta (media 30% latifoglie, 15% conifere) dal rosso estremo all'infrarosso (fino a 900 nm).

Molti studi più dettagliati sono stati effettuati sui caratteri del potere riflettente nel campo delle varie lunghezze d'onda (riflessione spaziale); ne citiamo alcuni quale traccia per una metodologia di studio. In Francia Rossetti, Kowaliski e Havé (52) hanno ricavato delle curve di riflessione per legumi e piante spontanee da 400 a 1500 nanometri.



Per le frutta ed i legumi si hanno tre gruppi di tessuti caratteristici:

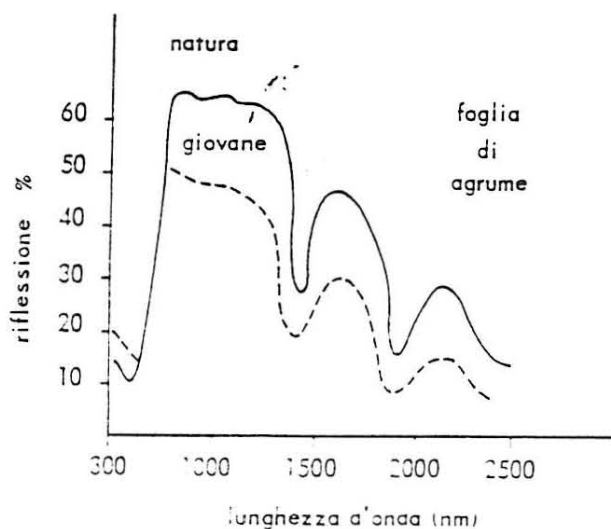
- tessuti con funzione clorofilliana (foglie di spinaci, pere) aventi andamento classico della curva con massimo sui 550 nm e repentino aumento di riflessione dopo 700 nm fino a raggiungere valori superiori al 50% nell'infrarosso vicino (800-900 nm);
- tessuti senza funzione clorofilliana (parte bianca peri, aranci, tubercoli di patata): mancanza del massimo a 550 nm e forte riflessione ($> 50\%$) nel primo infrarosso;
- altri tessuti con pigmentazione di carotene (carote, pomodori): debole riflessione ($< 40\%$) nell'infrarosso vicino e tendenza ad una diminuzione dopo 1000 nm.

Per le parti aeree delle piante spontanee sono state suddivise queste in due gruppi (ognuno con curve di stesso andamento con variazioni leggere l'una rispetto all'altra):

- 1^a specie (o gruppo): *Acer Pseudoplatanus*, *Betula*, *Carpinus Betulus*, *Cerasus*, *Corylus*, *Fagus purpurea* e *silvatica*, *Platanus*, *Populus*, *Quercus*, ecc.;
- 2^a specie (o gruppo): *Juniperus Oxycedrus*, *Larix*, *Pinus silvestris* e *Aeluropus littoralis*, fusti di *Juncus subulatus*, *Salsola fruticosa*, *Tamarix gallica* (cioè conifere e piante che crescono in terreno salato).

Le caratteristiche di riflessione del 1^o gruppo sono localizzate a: 400 nm (minimo 5-6%); 550 nm (massimo 12-15%, con minimo 9% per *Acer Pseudoplatanus* e massimo 19% per *Statice Limonium*); 680 nm arancio-rosso (minimo 6-7%); dopo 680 nm salita brusca fino a più del 50% in genere verso 800 nm (deboli scarti fra le specie 46% *Acer Pseudoplatanus* e 56% *Statice Limonium*); 1100 e 1270-1280 nm (due massimi 60%); 1300 nm caduta brusca; 1440 nm (minimo sul 25%: 18% *Statice Limonium*, 33% *Carpinus Betulus*).

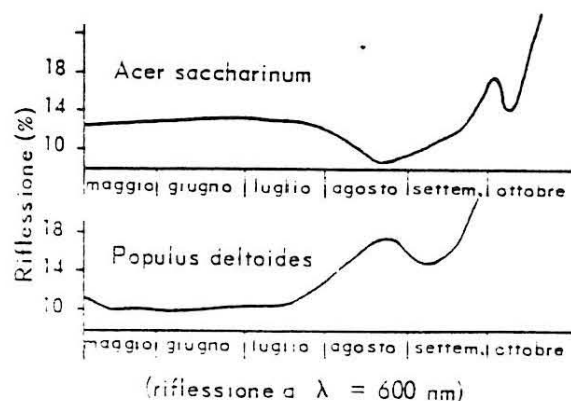
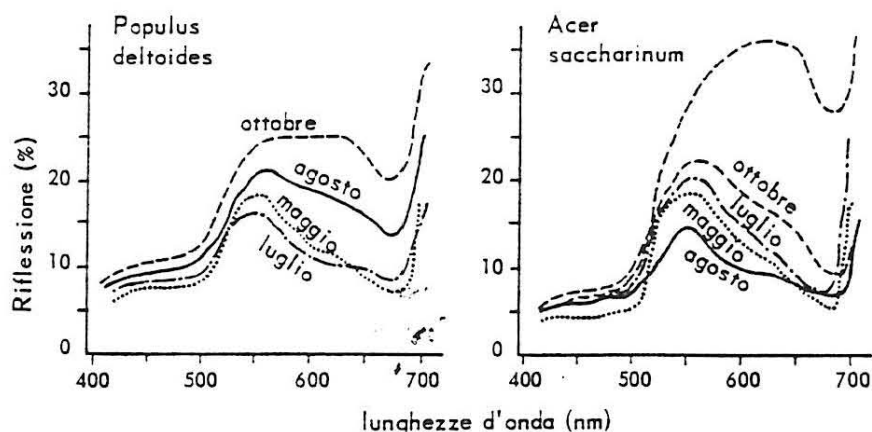
Il gruppo 2^o si distingue per la comparsa di un massimo supplementare a 825-850 nm e una leggera caduta verso 1075 nm del massimo visto sopra a 1100 nm.



Ma può condursi anche un'indagine più dettagliata come (27) ha fatto Harold W. Gausman studiando la riflessione delle foglie nel campo dell'infrarosso vicino (750-

2350 nm) che contiene il campo dell'infrarosso fotografico (750-900 nm). Egli ha trovato che i raggi infrarossi vengono dispersi o riflessi dalle discontinuità dell'indice di rifrazione della luce che si verificano all'interno della foglia, principalmente all'interfaccia fra pareti della cellula idratata ($n = 1,425$) e spazi intercellulari contenenti aria ($n = 1,0$) (infatti riempiendo i vuoti con liquido avente indice di rifrazione uguale a quello delle pareti cellulari si è avuta minima riflessione, così come piccola riflessione ha una foglia giovane, più compatta e quindi con poca aria nella mesofilla, rispetto ad una matura, più spugnosa) e secondariamente fra i costituenti cellulari quali membrane, citoplasma, ecc. (le curve di riflessione del grano, eucalipto, ligustro, ecc. variano perchè varia l'organizzazione della mesofilla: grano = foglia compatta; eucalipto = foglia bilaterale; ligustro = foglia dorsiventrale con più strati di cellule a palizzata). Le cellule malate aumentano così i vuoti interni contenenti aria. Un confronto fra *Heliconia humile* (cellule epidemiche a pareti semplici) e *Agave americana* (cellule complesse con pareti striate che provocano dispersione della luce) mostra che le differenze di riflessione fra le pareti e le zone interne della cellula sono minime nella prima e accentuate (23%) nella seconda (con massimo per 900 nm).

Finora abbiamo sempre considerato una data fotografia, ripresa in un certo giorno. Utili considerazioni sul tono possono però farsi (18) (20) anche confrontando prese eseguite sulla stessa zona, o per lo stesso soggetto, in epoche diverse dell'anno (è espe-



rienza comune quella della variabilità di un panorama visto in mesi diversi). Uno studio comparativo del genere può essere doppiamente utile:

- servirà per scegliere l'epoca più adatta per realizzare fotografie con il massimo contenuto informativo;
- consentirà anche, disponendo di serie di fotografie scalate nel tempo, di sfruttare proprio la diversa variabilità del tono quale fattore di fotointerpretazione.

Vedremo così che (55):

- in inverno

le zone coperte da ghiaccio e neve presentano un forte contrasto (ad es. campi, paludi, fiumi ghiacciati risultano di un bianco brillante mentre una foresta di conifere apparirà nerissima) ma sono facili gli errori (ad es. due laghi separati da una palude, tutti ghiacciati, appaiono come unica superficie) ed inoltre la maggior parte dei dettagli interessanti il pedologo, il geologo, l'agrario sono ricoperti dalla neve o possono essere offuscati dal riflesso;

- primavera

gli alberi ancora spogli lasciano vedere il terreno il quale non è più coperto dalla neve disciolta (il diverso stato di scongelamento può fornire indicazioni su condizioni locali); l'identificazione, specie alle grandi scale, delle essenze latifoglie è facilitata dai dettagli della chioma (di cui ripareremo) ed anche, talvolta, dalla successione del germogliamento delle foglie (fra i primi il *Populus tremuloides* ed il *Salix*, fra gli ultimi la *Carya*) per il quale occorre però tenere nel debito conto dell'esposizione, delle condizioni climatiche e delle variazioni genetiche di ciascuna specie. Il periodo migliore è ad ogni modo poche settimane dopo l'apparizione delle foglie giovani la cui colorazione tenue (in contrasto con quella vivace autunnale) presenta diversità diagnostiche (es. *Quercus alba* ha foglie verde grigio, *Quercus rubra* foglie con sfumature rossastre; *Populus grandidentata* si distingue, per le foglie a tono biancastro, da *Populus tremuloides*, col quale si confonde in tarda estate). Nel campo agrario può essere un elemento distintivo la specifica disposizione della semina (il riconoscimento può essere più o meno facile);

- estate

stagione nella quale si fanno quasi tutte le prese cartografiche (per il numero di giorni «volabili») ma è la meno adatta per fotointerpretazioni forestali date le pochissime variazioni di tono. Anche per le colture il tipo di mietitura non può essere elemento sicuro di identificazione essendovi, anche entro la stessa regione, disuniformità di tecniche di raccolta;

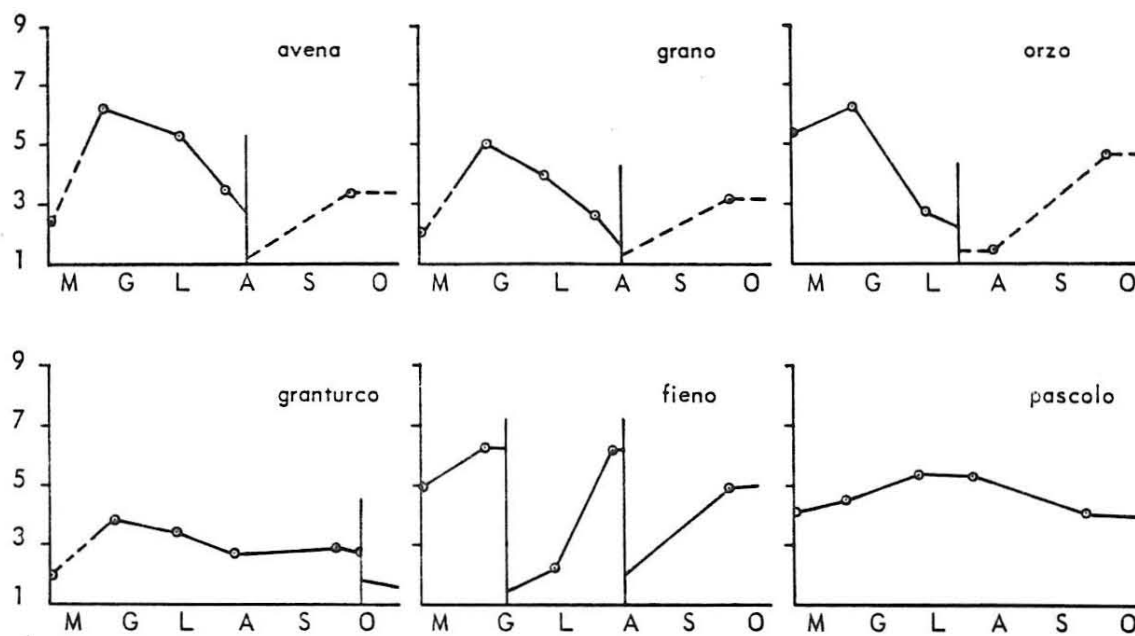
- autunno

come la primavera, è stagione di rapide variazioni con in più la brillantezza ed evidenza dei colori; data la caduta delle foglie il terreno sottostante torna ad essere visibile ma tale fenomeno di defogliazione ha poco valore come fattore fotointerpretativo dato che la successione della caduta è troppo influenzata dal clima locale, la posizione, il tempo meteorico (vento, ecc.), le variazioni genetiche.

Uno studio comparativo può essere condotto sulla base di curve di riflessione spettrale tracciate per ciascuna specie arborea e per vari mesi degli anni (negli esempi dati

per *Populus deltoides* e *Acer saccharinum* si vede che la riflessione aumenta in modo marcato in ottobre e novembre) che possono essere trasformate in unica curva per una data lunghezza d'onda (es. 600 nm).

Date le difficoltà di effettuare una distinzione, ad es. fra colture ad una data epoca, è opportuno, se possibile, effettuare più confronti in epoche diverse. Diamo i grafici delle variazioni di tono, espresse con numeri da 1 = bianco a 10 = nero di alcuni campi fotografati da Maggio (M) a Ottobre (O); con linee verticali si è indicata la mietitura o raccolto mentre sono tratteggiati i toni creati per gran parte dal colore del terreno e punteggiati quelli dati dai campi di stoppie.



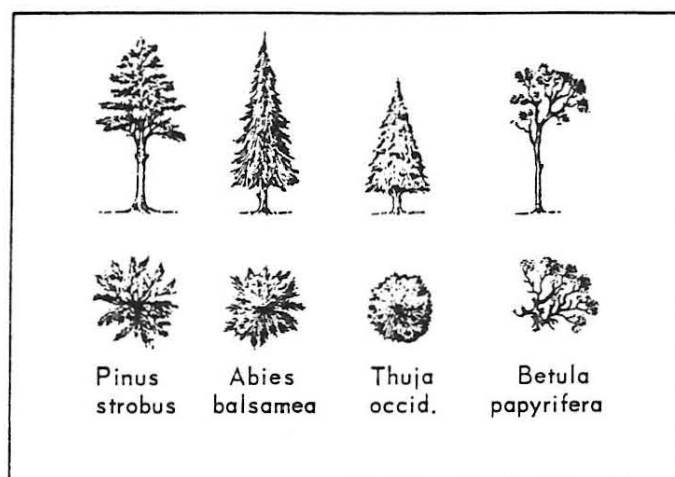
Si è finora considerato il solo caso, peraltro più usuale, di registrazione fotografica ma si devono tener presenti anche gli altri tipi di presa pseudofotografica: quella termica e quella radar. In tali casi (5) il tono ha ancora tutto il suo valore ma deve essere giustamente interpretato: nel primo caso quale entità di energia emessa nel campo dell'infrarosso termico e nel secondo caso quale rappresentazione della forza del segnale radar di ritorno, legata ai parametri del sensore (frequenza, polarizzazione, angolo di incidenza) e ai parametri dell'oggetto (ad es. nel caso di colture: altezza, densità, spaziatura file, struttura fogliame, ecc. e contenuto di umidità delle piante e del terreno).

In tutti i ragionamenti ora condotti si è sempre trascurato il ricorso alla visione stereoscopica che invece, anche nell'esame delle colture, è basilare (ad es. in giugno-luglio i campi di granturco possono essere identificati per il loro aspetto a «tappeto» accentuato anche dal fatto che la maggior parte degli altri campi è o brulla o coperta d'erba e quindi con tessitura tutta diversa).

3.2.2. - Forma

La forma mantiene anche nelle fotografie aeree tutta la sua importanza quale fatto-

re di riconoscimento di un determinato particolare ma occorre tener presente che il punto di vista della fotografia nadirale è totalmente inusitato trovandosi a 90° rispetto a quello nostro abituale, onde la forma che ci appare in essa è quella «in pianta» alla quale occorre «fare l'occhio». In questo però saremo fortemente aiutati sia dalle ombre proiettate (che praticamente ribaltano l'immagine di 90°) sia soprattutto dalla visione stereoscopica alla quale è assolutamente indispensabile ricorrere in fase di fotointerpretazione.



L'importanza della forma (54) varia con la scala della fotografia: la forma della chioma e disposizione dei rami, che sono le caratteristiche di un albero, sono distinte nelle fotografie da bassa quota (grande scala) ma perdono via via di valore al diminuire della scala finchè divengono così indistinte da dover essere abbandonate e da essere sostituite da altri fattori (tono, tessitura, ombre, ecc.) assai più sensibili a condizioni del momento e del luogo e quindi indubbiamente assai meno sicuri: a scala 1:600 la maggior parte delle specie sono distinguibili dalla struttura dei ramoscelli e dall'organizzazione e forma delle foglie e il loro riconoscimento è quasi certo; a scala 1:2500 - 1:3000 sono ancora visibili e si distinguono le singole chiome ma la identificazione dell'esatta specie comincia a farsi difficile; a 1:8000 si distinguono i singoli alberi (purchè il bosco non sia molto fitto) ma è impossibile descrivere la forma della chioma; a scala 1:15000 le ombre consentono di vedere la forma della chioma ma ovviamente solo per individui isolati o di notevoli dimensioni; a scala con denominatore ancora maggiore si deve passare, come sopra detto, ad altri fattori diagnostici.

Dato lo scopo del nostro corso di fotogrammetria non ci soffermiamo in una più approfondita disamina su questi fattori di fotointerpretazione ma vogliamo tracciare un breve schema di identificazione (chiave) di conifere solo in base alla forma della chioma che, per le conifere è piuttosto caratteristica (mentre per le latifoglie è più irregolare da individuo a individuo):

A - Piccola o, se grande, a forma conica definita:

a) largamente conica, di solito con cima tonda

rami non prominenti *Thuja occidentalis*

- b) stretta, spesso cilindrica, alberi crescenti
spesso in paludi *Picea mariana* (palustre)
- c) conica, decidua, tono molto chiaro in autun-
no spesso associato a *Picea Mariana* *Larix laricina*
- d) strettamente conica, molto simmetrica cima
a punta, rami meno prominenti che in *Picea*
glauca *Abies balsamea*
- e) come d) ma cima arrotondata, tono più scuro . *Thuja occidentalis*
- f) strettamente coniche, cima spesso ottusa,
rami più prominenti che in *Abies balsamea* . . *Picea glauca*, *mariana* (non palustre)
- g) irregolare, spesso cima appuntita, fogliame
più sottile, tessitura più liscia di *Picea* e
Abies balsamea *Pinus bauksiana*

B - Larga e aperta, non strettamente conica, cima
spesso non ben definita:

- a) chiome densissime, irregolari o largamente
coniche:
 - . rami individuali molto prominenti, chioma
irregolare a forma stellare *Pinus strobus*
 - . rami individuali raramente prominenti chio-
me di solito coniche (può confondersi con
Pinus strobus ma ha la chioma più conica) . *Tsuga canadensis*
- b) chiome aperte, ovali, circolari in pianta *Pinus resinosa*

3.2.3. - Dimensioni

È ovvio che le dimensioni sono un fattore importante della fotolettura in quanto, oltre a costituire un elemento descrittivo numerico essenziale, consentirà di effettuare le necessarie differenziazioni ad esempio fra classi stradali, fra particelle di diversa età di un bosco costituito da una sola essenza, ecc.. Naturalmente occorre sempre mettere in primo piano la conoscenza della scala della fotografia, senza la quale è impossibile ovviamente effettuare la trasformazione delle misure eseguite sull'immagine in misure reali; non conoscendo la scala potrà ad esempio essere presa per casa un canile, degli ovini potranno essere scambiati per dei bovini, una palizzata potrà essere interpretata come fila di pali del telefono, ecc.. Attenzione inoltre alle possibili obliquità della fotografia ed alla distorsione di altezza (vedi più oltre).

Le misure dovranno essere eseguite con molta precisione, specie su fotografie a scala piccola, poichè i dati dovranno essere moltiplicati per il denominatore (un millimetro di differenza nella misura su una fotografia 1: 10 000 porta ad un errore di 10 m sul terreno). Gli strumenti più idonei saranno la barra di parallasse, scalimetri tracciati su pellicola indeformabile trasparente (per l'osservazione allo stereoscopio) o, per piccoli par-

ticolari, delle lenti di ingrandimento che hanno unito un vetrino di base graduato. Altri sistemi sono costituiti da reticoli del tipo descritto a proposito della restituzione speditiva strumentale. Per le aree (ad es. di una particella boschiva) si può riportare la zona sulla carta e misurare con un planimetro ma ovviamente tale sistema è lento e non si presta ad un rilievo estensivo: è preferibile disporre sulla particella una pellicola con linee parallele (e leggere su ogni linea la lunghezza che cade all'interno sommando poi le singole lunghezze e moltiplicando il risultato per l'interdistanza fra le linee) oppure punti (il rapporto dei punti che cadono entro la particella con quelli che cadono su tutta la zona dà la proporzione fra area della particella ed area della zona).

3.2.4. - Tessitura

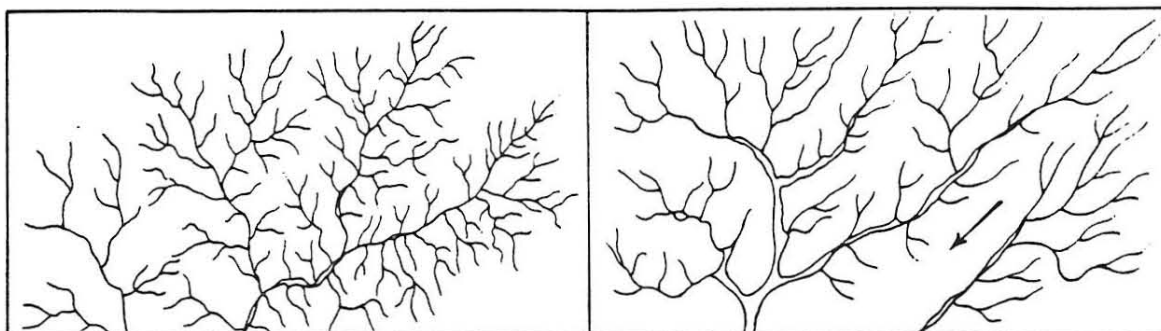
Nelle fotografie aeree la tessitura è creata dalla ripetizione tonale in gruppi di oggetti che sono troppo piccoli per essere individuabili singolarmente. Deriva da tale definizione che la dimensione dell'oggetto che produce la tessitura varia con la scala della fotografia: nella fotografia a grande scala (piccolo denominatore) gli alberi possono essere individuati uno per uno: le foglie ed i rami non possono essere distinti ma forniscono nel loro complesso una ben definita tessitura alla chioma. In fotografie a denominatore più grande (scala minore) saranno le chiome a costituire la tessitura della particella boschiva.

Si potrebbe moltiplicare gli esempi così come si potrebbe elencare i termini normalmente impiegati per definire la tessitura; non si ritiene però che svolgere maggiormente l'argomento possa risultare utile per un futuro impiego: in questo come in tutti i campi della fotointerpretazione nulla può valere quanto una prolungata pratica.

3.2.5. - Particolari associati

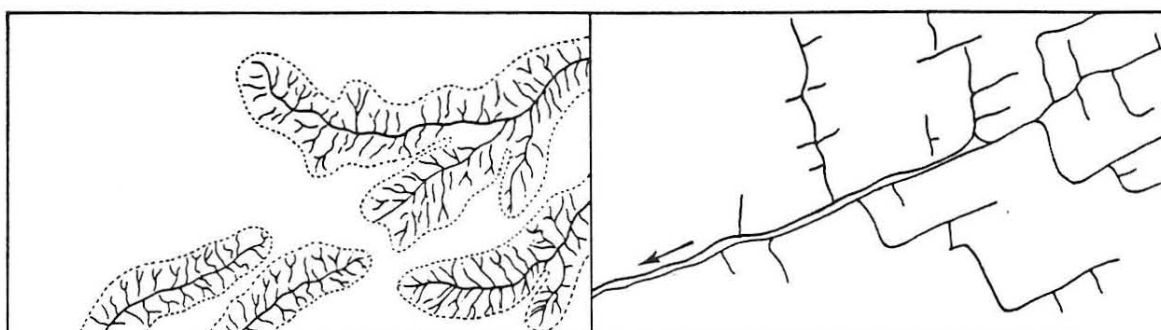
Molto spesso l'immagine fotografica di un determinato oggetto, o fenomeno, è troppo tenue (o non esiste affatto) e la fotointerpretazione deve giungere ad individuare l'oggetto, o il fenomeno, indirettamente basandosi su particolari associati. Così ad esempio una faglia che costituisca barriera idrologica sarà individuabile attraverso la diversa umidità (e quindi il diverso «tono») delle due zone separate dalla faglia; la natura pedologica (e talvolta quella litologica) di un terreno potrà essere denunciata da un determinato tipo di vegetazione che si differenzia da quella limitrofa (così sul M. Amiata si possono delimitare le colate basaltiche dalle trachitiche per la presenza di colture agrarie al posto di boschi di faggio e castagno); la presenza di gallerie paramassi lungo una strada di montagna potrà indicare una particolare franosità della zona o, secondo la natura litologica, una disposizione tettonica a franapoggio; le forme erosive stesse sono spesso legate alla litologia, basti pensare ai due casi più notevoli di correlazione: calanchi con le argille scagliose dell'Appennino settentrionale e le doline (e fenomeni carsici in genere) con i calcari del Carso veneto e delle Dolomiti.

Fra i particolari associati è da ricordare il reticolo idrografico di speciale importanza in quanto esso è già di per sé oggetto di studio onde ne deriva, come ovvio, lo sfruttamento della sua interpretazione anche a fini litologici, tettonici o morfologici. Ricordiamo brevementi le varie forme:



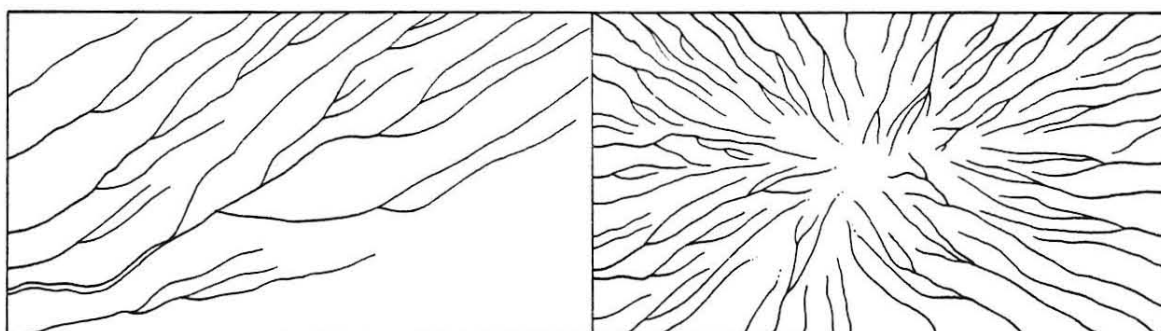
dendritico

subdendritico



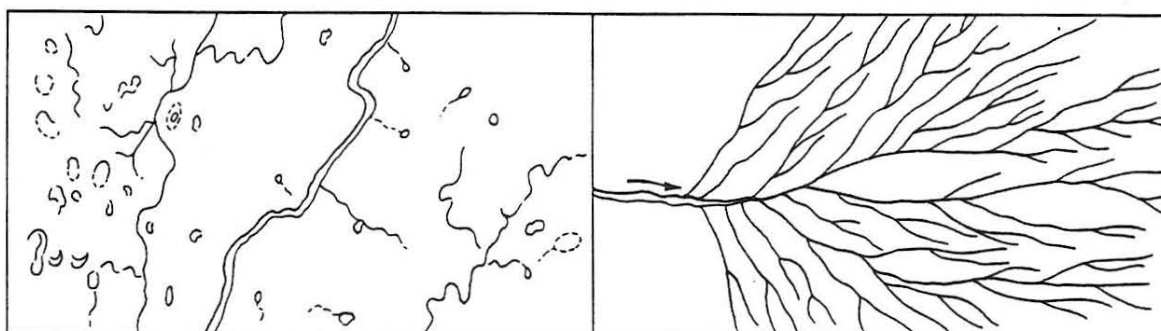
pettinato

a graticcio



parallelo

radiale (*)



disorganizzato

dicotomico

(*) nella forma «anulare» ai corso d'acqua principali aventi andamento radiale (andamento «consequente») si associano tributari che seguono banchi di minor resistenza ed hanno quindi andamento circolare (andamento «sussequente»).

- dendritico, con rami sviluppatisi liberamente in tutte le direzioni su terreni a grana fine: la tessitura molto spaziata si verifica su rocce dure omogenee intrusive o metamorfiche massicce, la spaziatura media si ha nelle arenarie permeabili e quella stretta (con massimo di ramificazione) in argille e argilloscisti fini. Ramificazioni terminali a tenaglia si sviluppano in zone granitiche o di rocce basiche);
 - subdendritico, simile al dendritico ma con rami più stesi ed allungati a fondo piatto e larghi: caratteristiche delle pianure costiere;
 - pettinato, (= a forma di pettine) con solchi a spaziatura molto stretta e forma ad U: tipico del loess;
 - a graticcio o angolato, individua sistemi di faglie o fratture che ne influenzano lo sviluppo;
 - parallelo (a coda di cavallo) caratteristico dei pendii ripidi in argille o argilloscisti o di superfici inclinate dello stesso materiale a grana fine (diventa dendritico quando il pendio si addolcisce);
 - radiale o anulare, indizio di domi (centrifugo) o bacini (centripeto), con rocce di diversa resistenza (se anulare); i due tipi sono spesso combinati;
 - disorganizzato, in zone coperte di sedimenti glaciali;
 - dicotomico, su conoidi alluvionali o in delta;
- e si potrebbe continuare l'esemplificazione.

È evidente poi la correlazione che esiste fra terreno e vegetazione onde quest'ultima può costituire un «particolare associato» molto utile in studi pedologici. Così il faggio si troverà di preferenza in terreni acidi mentre cresce male nei terreni molto lisciviati, cioè impoveriti di basi e non si incontra mai sui veri podzol. Altre specie invece (pino silvestre e betulla), particolarmente adattabili, serviranno molto poco di guida poichè vegetano sia in terreni calcarei (più o meno basici) e in terreni silicei (quindi acidi). La vegetazione spontanea potrebbe dare invece più probanti indizi sul pH di un dato suolo; così nei suoli fortemente acidi s'incontrano diffusi il mirtillo nero, rosso e palustre, la calugna, il rododendro, la ginestra dei carbonai, mentre in suoli a pH superiore a 5,5-6 e con humus di buona qualità vegetano l'anemone azzurro, lo aglio orsino, la belladonna, la fragola, l'erba impaziente. Purtroppo il riconoscimento di tali tipi di vegetazione nelle fotografie aeree è praticamente impossibile.

3.3. - I MEZZI PER LA FOTOINTERPRETAZIONE

La fotointerpretazione trova, o può trovare, una facilitazione impiegando strumenti particolari o ricorrendo ad un trattamento della fotografia che ne metta in risalto le caratteristiche. Ne descriviamo alcuni senza la pretesa di completare il quadro.

3.3.1. - Stereoscopia

Il più potente ausilio della fotointerpretazione è, lo abbiamo già detto più volte, la

stereoscopia cioè la visione in rilievo dei fotogrammi che, da piani, assumono l'aspetto di un « modello stereoscopico » della zona o dell'oggetto fotografati. Tale modello va distinto da quello « metrico » che vedemmo essere ricostruito meccanicamente, od otticamente, negli strumenti di restituzione fotogrammetrica analogica. Diciamo subito che:

- modello stereoscopico: è frutto della nostra mente e non è quindi misurabile o comunque alterabile; presenta una forte esagerazione nei dislivelli (esagerazione del rilievo);
- modello metrico: è ricostruito strumentalmente, quindi ha una sua esistenza reale ed è assoggettabile a misure; se correttamente ricostruito (come deve essere) è un vero e proprio « modello » ridotto dell'oggetto fotografato.

La nostra visione stereoscopica del mondo che ci circonda nasce da una osservazione di tale mondo da due punti di vista diversi (i due occhi) da ognuno dei quali esso ci appare leggermente diverso. Se noi osserviamo due fotogrammi ripresi da due punti di presa successivi essi sono diversi (vedemmo che il rilievo del terreno crea una traslazione variabile delle immagini fotografiche = distorsione di altezza) ma ciascuno dei nostri occhi li vede ambedue onde al cervello non giungono immagini diverse. Sarà necessario quindi separare la visione dei due fotogrammi in modo che l'occhio sinistro veda solo il fotogramma di sinistra e l'occhio destro solo quello di destra: in tal modo il nostro cervello fonderà le due immagini diverse che gli pervengono in una unica visione in rilievo (sebbene falsata come detto). È questo risultato che si raggiunge con lo stereoscopio il quale non solo separa le due visioni ma le ingrandisce più o meno.

Esistono vari tipi di stereoscopio:

- tascabile: due lenti sono portate da un supporto (rigido o più o meno allungabile per adattarsi alla distanza interpupillare dell'osservatore) dotato di gambine, pieghevoli; per l'appoggio sul tavolo (queste devono essere più o meno allungabili, se lo strumento lo consente, per adattarsi alla vista dell'osservatore);
- da campagna: le due lenti sono portate da una forcilla allargabile e regolabile rispetto ad un piccolo basamento, al quale è fissata, che porta i fotogrammi (il basamento è aperto al centro per consentire di farvi passare dentro i fotogrammi quando troppo grandi). Il tutto può essere portato in mano durante i lavori sul terreno. Un'altra attrezzatura (realizzata dalla Zeiss) è costituita da uno stereoscopio tascabile con piedini magnetici per aderire ad un piano metallico che viene appeso al collo e sul quale, con pesi magnetici, sono fissati i fotogrammi;
- a specchi o da tavolo: l'inconveniente principale dei due tipi di stereoscopio sopra descritti è costituito dal fatto che la vicinanza fra le due lenti (circa 7 cm) obbliga a sovrapporre i due fotogrammi stereoscopici obbligando a particolari « acrobazie » per l'esame della zona centrale. Lo stereoscopio a specchi è dotato di due oculari centrali a distanza interpupillare ma da essi la visione verso il basso viene deviata da prismi e specchi all'infuori consentendo di disporre i fotogrammi largamente intervallati;
- a scansione: tutti i tipi descritti obbligano a spostare (parallelamente a se stesso) lo stereoscopio sui fotogrammi per poterli esplorare totalmente. Tipi più perfezionati contengono in se prismi mobili agendo ai quali, con bottoni esterni, si « vola » sopra il modello stereoscopico senza muovere l'apparecchio; in genere un sistema di scamottag-

gio consente di cambiare ingrandimento sui punti che più interessano.

159

Riteniamo necessario descrivere il procedimento di disposizione dei fotogrammi per la visione stereoscopica; sembrerà che esso sia elementare e ci si sentirà portati a trascurare la successione di operazioni sotto indicate: l'esperienza però ci dice che il voler «fare da se» prima di aver acquisita una certa esperienza non può che condurre a una perdita di tempo e ad una errata disposizione finale:

- a) scegliere i due fotogrammi contigui (in genere la numerazione progressiva al bordo ci guiderà nella scelta, altrimenti dovremo basarci sulla zona di sovrapposizione, a comune e quindi con immagini identiche, o quasi);
- b) sovrapporre i due fotogrammi in modo che la zona stereoscopica dell'uno vada a coincidere il meglio possibile, con quella dell'altro (controllare particolari evidenti: strade, campi che risaltano, boschi di forma caratteristica); i margini dei fotogrammi con i dati ausiliari (orologio, altimetri, ecc.) dovranno trovarsi dalla stessa parte (in alto, a destra,);
- c) in questa posizione un fotogramma sposterà a sinistra, l'altro a destra: scostare i due fotogrammi affiancandoli in modo che il fotogramma che sporgeva a sinistra vada a sinistra e quello che sporgeva a destra si trovi a destra (una disposizione contraria provocherebbe una visione invertita del rilievo = pseudoscopia: le creste apparirebbero valli e viceversa);
- d) avvicinare adesso i due fotogrammi portandoli a distanza interpupillare; con uno stereoscopio a lenti ciò si otterrà facilmente rovesciando lo stereoscopio sui fotogrammi (gambe in alto) portando la lente di sinistra su una immagine evidente del fotogramma di sinistra e spostando poi il fotogramma di destra finché la stessa immagine, in esso contenuta, cada sotto la lente di destra (i due fotogrammi devono mantenersi orientati come inizialmente, cioè, supponendo il caso reale di mancanza di deriva sensibile, con i lati paralleli);
- e) rovesciato lo stereoscopio (gambe poggiate sul tavolo) si osserva ora lo stereogramma attraverso le lenti senza forzare la vista ma guardando come se l'immagine fosse all'infinito: si dovrà vedere una sola immagine netta e in rilievo. Se si vedono due immagini spostate l'una sull'altra ruotare un poco lo stereoscopio; se si vedono due immagini distanziate secondo l'asse dello stereoscopio avvicinare i due fotogrammi;
- f) l'esplorazione di tutto lo stereogramma avverrà spostando lo stereoscopio, ma sempre parallelamente a se stesso e alla congiungente i due centri dei fotogrammi (che diciamo chiamarsi linea di volo). Poiché uno dei fotogrammi si sovrapporrà all'altro nascondendone le immagini, si potrà invertire la sovrapposizione o anche alzare (fra le due lenti) il lembo di sovrapposizione, per aumentare il campo osservato.

3.3.2. - Densitometria

Abbiamo più volte specificato che le varie immagini fotografiche non sono altro che differenze di annerimento delle emulsioni (parlando dei materiali in bianco e nero) cioè, per parlare più propriamente, «differenze di densità ottica (tono)».

- . fotografiche personali: uno o più immagini fotografiche con note relative alla loro interpretazione, riunite da un interprete principalmente per scopo personale;
- . fotografiche generali: uguali alle precedenti ma compilate per rapida riproduzione e distribuzione ad altri interpreti;
- . integrate - selettive: le immagini fotografiche per ogni dato oggetto o condizione all'interno di una chiave (a soggetto o regionale) sono sistemate in modo che si possa identificare, per riferimento ad una data parte della chiave, l'oggetto o la condizione relativa;
- chiavi ad eliminazione (organizzate in modo che l'interprete segua un processo, passo per passo, che porta ad eliminare tutti gli altri oggetti ad eccezione dell'unico che egli cerca di identificare):
- . chiave dicotomica: la descrizione grafica o a parole assume la forma di una serie di doppie caratteristiche contrastanti. Progredendo per scelte alternative si ha l'eliminazione progressiva di tutti gli oggetti o condizioni del gruppo eccetto quello cercato che rimane per ultimo;
- . chiavi a disco: le forme fotografiche sono riunite o sistemate in uno o più dischi concentrici rotanti, onde una volta allineate le caratteristiche in modo appropriato rimane isolato il solo oggetto o condizione cercato;
- . chiave a schede perforate: le forme fotografiche di un dato oggetto sono sistemate in gruppi di schede (ogni scheda una forma) in modo che quando si scelgono appropriate schede e si sovrappongono sopra una base a codice tutti gli oggetti o condizioni, ad eccezione di quello cercato, vengono eliminati.

3.4. - IL METODO NELLA FOTOINTERPRETAZIONE

È ben difficile dettare un metodo per la fotointerpretazione (un poco più assoggettabile a norme è la sola fotolettura) poichè ogni interprete deve condurre un proprio ragionamento in base alla propria cultura di base (che è assolutamente indispensabile sia vasta e specifica nella fotointerpretazione vera e propria) e al proprio personale modo di condurre analisi e sintesi.

Riteniamo possa essere utile riportare qualche schema di processo interpretativo che ha, per quanto sopra detto, solo valore orientativo.

3.4.1. - Fotointerpretazione geografica generale

Riportiamo innanzitutto le fasi successive che possono essere attuate nella interpretazione generale di una zona per quanto riguarda la idrografia, la morfologia, la vegetazione, ecc. (2).

A) scale fotografiche 1: 70 000 - 1: 30 000

- 1) delineare le zone coperte da specchi d'acqua permanenti (mari, laghi e fiumi), da specchi d'acqua stagionali, senza idrografia superficiale, con idrografia sotterranea;
- 2) delineare le rive del mare, dei laghi e di fiumi più importanti;
- 3) determinare le direzioni generali della corrente;
- 4) delimitare le varie superfici aventi diverso tipo di reticolo idrografico (dendritico a grata, ecc.).

B) scale fotografiche 1: 30 000 - 1: 10 000

- 5) delineare e classificare i vari tipi di costa;
- 6) delineare i tributari maggiori e i fiumi minori;
- 7) preparare profili con le caratteristiche delle principali valli e creste;
- 8) segnare i punti ove le acque si discostano dalle forme generali e i cambi improvvisi di direzione del flusso;
- 9) segnare i corpi e forme inseriti entro le acque (es. onde, ghiacci natanti, alberi, ecc.).

C) scale fotografiche superiori a 1: 10 000

- 10) delineare i tributari minori e i vari rami fluviali;
- 11) segnare le opere artificiali fluviali (es. dighe, fossati, rettificazioni, ecc.);
- 12) segnare e delimitare le differenze di tono o tessitura dell'acqua;
- 13) determinare caratteristiche specifiche aventi un particolare riflesso su altri argomenti (es. trasporti, comunicazioni, ecc.).

Morfologia

A) scale fotografiche 1: 70 000 - 1: 30 000

- 1) delineare le linee di displuvio fra l'idrografia principale, laghi e fiumi principali;
- 2) delineare le zone di minima quota (fondi valle e depressioni limitrofe e specchi d'acqua);
- 3) delimitare le zone sulla base della pendenza;
- 4) delimitare eventualmente, in genere, le zone di probabile copertura di ghiaccio o meno.

B) scale fotografiche 1: 30 000 - 1: 10 000

- 5) delineare le linee di displuvio dell'idrografia minore;
- 6) delimitare le parti piane e le varie parti in pendenza;
- 7) delimitare le zone secondo l'entità della pendenza;
- 8) delimitare le zone con rocce affioranti;
- 9) per le zone non coperte da ghiaccio:
 - a) delimitare le zone secondo i tipi di roccia (magmatiche, sedimentarie, metamorfiche);

- b) delimitare le zone secondo le caratteristiche strutturali;
- c) determinare le caratteristiche generali di specifiche forme morfologiche o strutture geologiche (es. inclinazione, immersione);
- 10) per le zone coperte da ghiaccio:
 - a) definire le probabili zone di glaciazione montana e continentale;
 - b) delimitare le zone di erosione glaciale e di deposito glaciale;
 - c) determinare la direzione del movimento del ghiaccio;
 - d) determinare lo spessore generale della copertura glaciale;
- 11) determinare le caratteristiche generali di speciali forme morfologiche.

C) scale fotografiche superiori a 1: 10 000

- 12) determinare le caratteristiche dettagliate di speciali forme e di strutture geologiche.

Vegetazione naturale

A) scale fotografiche 1: 70 000 - 1: 30 000

- 1) delimitare zone nude e zone coperte da vegetazione naturale;
- 2) delimitare le zone coperte da vegetazione secondo lo sfruttamento, o non, da parte di uomini e animali;
- 3) delimitare zone di bosco, macchia e pascolo (naturale);
- 4) notare la distribuzione delle zone di cui sopra in relazione all'idrografia e alla morfologia;
- 5) per i boschi suddividere le zone secondo:
 - a) latifoglie e aghifoglie;
 - b) differenza in altezza degli alberi;
 - c) differenze significative di densità;
 - d) differenze di tessitura;
 - e) differenze di tono;
 - f) differenza di forma della particella (es. lineare, irregolare, ecc.);
 - g) il ripetersi di una ben definita associazione di distribuzione, altezza, tessitura, tono, forma;
 - h) densità associazioni (es. quercia - hickory, betulla - faggio - acero);
 - i) generi di essenza (es. pioppo, abete rosso);
 - l) caratteristiche generali del sottobosco;
- 6) per la macchia: come per i boschi da b) ad h);
- 7) per il pascolo: come per i boschi da b) a g).

B) scale fotografiche 1: 30 000 - 1: 10 000

- 8) delimitare zone che hanno subito da poco variazioni nella copertura vegetale (disboscamento, incendio, infestazioni);
- 9) delimitare zone di essenze particolari;
- 10) delimitare zone di associazioni di macchia e zone erbose.

C) scale fotografiche superiori a 1: 10 000

- 11) determinare caratteristiche dettagliate di ciascun albero (es. volume legname, entità di crescita);

12) delimitare zone secondo le specie di macchia e suolo erboso.

163

Forme agricole

A) scale fotografiche 1: 70 000 - 1: 30 000

- 1) delimitare zone coltivate;
- 2) delimitare zone non coltivate ma recintate;
- 3) delimitare zone incolte; non recintate, usate probabilmente da animali;
- 4) individuare le cascine e notarne la distribuzione generale (agglomerate, disperse);
- 5) delimitare le zone di agricoltura estensiva e intensiva.

B) scale fotografiche 1: 30 000 - 1: 10 000

- 6) notare la disposizione delle fattorie in relazione alle linee di trasporto, idrografia, morfologia, vegetazione naturale;
- 7) delimitare le zone di agricoltura commerciale e di mantenimento;
- 8) nel caso di agricoltura commerciale a coltivazione, determinare il numero probabile di principali coltivazioni e il numero di raccolti;
- 9) nel caso di agricoltura commerciale ad allevamento determinare il tipo (es. carne, latte, lana);
- 10) determinare le particolari utilizzazioni del suolo in zone di agricoltura estensiva.

C) scale fotografiche superiori a 1: 10 000

- 11) determinare le specifiche colture in zone di agricoltura intensiva;
- 12) determinare le specifiche destinazioni degli edifici delle fattorie (granai, ricovero bestiame, chiusi per bestiame, ecc.);
- 13) determinare la specifica destinazione di edifici rurali e strutture non facenti parte di fattorie (es. mulini a vento, recinti, ecc.).

Forme rurali non agricole

A) scale fotografiche 1: 70 000 - 1: 30 000

- 1) delimitare le zone secondo il tipo di trasporti (es. ferrovie, canali, strade);
- 2) delimitare le parti di paese costruite;
- 3) localizzare le industrie rurali (impianti idroelettrici, cave, miniere);
- 4) localizzare le istituzioni rurali (ospedali, prigioni, asili per vecchi);
- 5) localizzare (identificandone il tipo) zone di svago (golf, canottaggio, pattinaggio).

B) scale fotografiche 1: 30 000 - 1: 10 000

- 6) localizzare e identificare gli edifici pubblici e semi-pubblici rurali (scuole, sale di riunioni, chiese);
- 7) segnare gli edifici commerciali (magazzini, stazione rifornimento, stazioni di servizio);
- 8) individuare gli edifici residenziali;
- 9) identificare i tipi di industria rurale (vedi 3);
- 10) identificare i tipi di istituzioni rurali (vedi 4);

- 11) delimitare ed identificare le zone di impiego vario nei paesi (commerciale, industriale, residenziale):

C) scale fotografiche superiori a 1:10 000

- 12) determinare l'impiego di specifici edifici nei paesi;
 13) identificare le parti funzionali di maggior significato delle industrie entro e fuori i paesi (centrali elettriche, fabbriche, magazzini);
 14) identificare l'impiego di edifici commerciali rurali (vedi 7);
 15) determinare le caratteristiche specifiche delle forme rurali non agricole.

3.4.2. - Fotointerpretazione litologica

Riportiamo, pressochè integralmente, quanto il Lueder, nel suo ottimo volume ci dice sulle caratteristiche aerofotografiche delle rocce (rimandando a tale prezioso testo per la miriade di informazioni geografico-geologiche legate alla fotointerpretazione).

a) Rocce magmatiche

a.1. - Rocce plutoniche ed intrusive (granitoidi e porfiriche) con tessitura cristallina: graniti, sieniti, dioriti, gabbri, peridotiti, ecc. e le possibili inclusioni porfiriche con le rocce a grana fine (rioliti, trachiti, daciti, andesiti, basalti, ecc.).

Date le loro grandi diversità le caratteristiche delle loro immagini fotografiche devono essere lasciate molto alla immaginazione. Possibile eccezione è costituita dal granito (e rocce affini) i cui «corpi» sono in genere caratterizzati dalle grandi dimensioni, la presenza di occasionali «pendenti» (= rocce incassanti che si spingono verso il basso nel tetto di un «plutone»), l'andamento tondeggiante dei limiti (salvo che non siano fagliati), la formazione frequente di colline massiccie a forma di cono, con sommità tondeggianti e pendici ripide.

Quando il rivestimento di uno strato di «suolo» manca o è molto sottile la superficie liscia della roccia è incisa da una caratteristica rete irregolare di fratture curvilinee.

Manca ovviamente ogni stratificazione.

Il reticolo idrografico ben integrato (*), non orientato (**), di varia densità (***) (secondo le influenze climatiche); le incisioni tendono ad avere in pianta forma arrotondata; la intersezione fra corsi d'acqua tende all'angolo retto, leggermente acuta verso monte.

Il tono è piuttosto chiaro data la predominanza, nelle rocce granitiche, di minerali leucocrati (costituenti incolori).

La vegetazione può variare ma in genere è poco lussureggiante; le zone coltivate, se esistenti, sono limitate alle sommità dei rilievi.

(*) - grado di integrazione: si riferisce al grado di unitarietà che ha la disposizione del reticolo idrografico.

(**) - grado di orientamento: esprime l'aspetto direzionale del reticolo idrografico che si sovrappone a quello della corrente.

(***) - densità: si riferisce al numero di corsi d'acqua per unità di superficie.